

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MIQUILSE, MUNICIPIO DE SAN LUCAS, MADRIZ

TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:

BR. CARLOS RAÚL MATUS CALDERÓN

TUTOR:

DRA. INDIANA GARCÍA GRANADOS

MANAGUA, NICARAGUA

OCTUBRE 2015

“Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano”

Isaac Newton

Agradecimientos

A **Dios** padre celestial por el don de la Vida y el brindarme llegar hasta este momento.

A mis padres (Luis, Sandra, Azucena y Nahúm) quienes siempre me han aconsejado y brindado lo mejor de ellos.

A mis hermanos (Alejandra, Rashiel, Jason, Luis Enrique y Génesis) con quien he compartido mi vida, y espero les sirva de ejemplo esta tesis, ante sus futuras metas.

A Bertha María con quien he compartido a lo largo de estos cinco años de la carrera (y más), y siempre me brindó su apoyo, comprensión y amor sin condiciones.

A mi tutora la Dra. Indiana García, ella ha sido la base para mí en conocimientos, un ejemplo a seguir en el ámbito profesional y siempre ha estado cuando la he requerido.

A la EXTCUNI, en su rama de Literatura y en particular al Profesor Iván Uriarte quien junto a mis compañeros de taller me demostraron que entre tantos cálculos nunca se debe perder la imaginación y el arte.

Finalmente a mis compañeros de clases (Julio, Eder, Oscar, Gunter, Fabio, Luis, Jeynner), con quienes compartí desvelos, alegrías, estrés, una que otra convocatoria, partidos inolvidables, anécdotas, en fin muchas cosas que perdurarán en nuestras memorias.

Dedicatoria

A Francisca Matus, mi Mita (Q.D.E.P), ella hubiera querido estar presente en este momento, ahora me acompaña desde el cielo.

Resumen

El presente documento muestra una caracterización y evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua en la comunidad de Miquilse perteneciente a la Micro Región 1 del municipio de San Lucas en el departamento de Madriz con el objetivo de evaluar la calidad del agua en dicha comunidad.

El estudio fue basado con reglamentación nacional principalmente la NTON 05-007-98 y los Índices de Calidad de Agua, con la cual se permite decidir el tipo de tratamiento de agua que se debe aplicar así como la funcionalidad que cumpliría dicha agua en dependencia a la calidad que esta posea; una vez definido el índice de calidad de agua de esta comunidad se propone una planta de tratamiento de agua, cuya calidad se compara con las Normas CAPRE, para conocer si es apta para el consumo humano.

Este estudio es un complemento al trabajo que se realizó en el año 2013 por la tesis Joela Palacios sobre la Evaluación de la calidad del agua de la subcuenca del Rio Tapacali y sus afluentes.

En la comunidad de Miquilse, San Lucas se realizaron muestreos en cuatro puntos: Aguas Arriba, Aguas Abajo, Afloramiento y el Grifo Comunal. Se encontró que en algunos de los puntos de muestreos había parámetros fuera de lo que establecen las normativas.

Al hacer el diagnóstico de calidad de agua mediante el ICA, se demostró que el punto de Aguas Arribas de Miquilse es el que mayor puntuación presentaba para ser seleccionado (ICA de 63.47).

El tratamiento de agua propuesto en este trabajo monográfico, consiste en la filtración en múltiples etapas (FiME). Dicho tratamiento se realizará con el fin de mejorar la calidad de agua y disminuir los costos de operación. Además del FiME también es necesario realizar aireación que aumente la concentración de oxígeno y haga apta el agua para consumo humano. Además se diseñó un tanque de cloración para que no exista ningún patógeno que altere con la vida.

Como principal recomendación es necesario, hacer muestreo cada seis meses como mínimo (según la OPS) en el punto Aguas Arribas, y al menos dos veces al

año en los otros tres puntos. Se debe de realizar dichos análisis con más énfasis sobretodo en época lluviosa.

Así mismo, el sistema de tratamiento por FiME debe ser evaluado por tres meses en la post obra para asegurar el buen funcionamiento de la planta, además de valorar los límites de agua mínimo requeridos por la norma CAPRE, para que funcione de manera óptima y que la comunidad no tenga problemas de abastecimiento. Es necesario establecer mantenimientos preventivos para evitar cualquier alteración tanto natural como externa al agua potable.

Este estudio es un aporte al mejoramiento de las condiciones para la calidad de vida de dicha comunidad, el agua es uno de los recursos más importantes para el desarrollo de todos los seres vivos, principalmente para el hombre, al mejorar las condiciones de la calidad de agua en estas comunidades, se mejoran las condiciones de salud y bienestar de la población.

Abstract

This document shows a characterization and evaluation of physicochemical and microbiological parameters of water in the community Miquilse belonging to the Micro Region 1 of the municipality of San Lucas in the Department of Madriz in order to evaluate the quality of the water in this community.

The study was based with national regulations mainly NTON 05-007-98 and quality Indices of water, which is allowed to decide the type of water to be applied as well as the functionality that would do such water in dependence to the quality that it possesses; Once defined the index of water quality of this Community proposes a treatment plant water, whose quality compares to the standards CAPRE, to see if it is suitable for human consumption.

This study is a complement to the work that was done in the year 2013 by the intern Joelah palaces on the evaluation of the quality of the water of the basin of the Rio Tapacali and its tributaries.

In the community of Miquilse, San Lucas were carried out surveys in four points: upstream, water down, upwelling and the communal tap. It is found there parameters outside of it laying down regulations in some of the sampling points.

To make the diagnosis of quality of water by the ICA, showed that water Arribas of Miquilse point is the higher score had to be selected (63.47 ICA).

Proposed in this monographic work, water treatment consists of filtration in multiple stages (FiME). This treatment is made in order to improve water quality and reduce operating costs. In addition to the FiME is also required ventilation increases the concentration of oxygen, then suitable water for human consumption. Also designed a chlorination tank so that there is no pathogen that alter with the life.

As main recommendation is needed, sampling every six months (according to OPS) at least point waters Arribas, and at least twice a year in the other three points. It should be done such analysis with more emphasis above all during the rainy season.

Likewise, the FiME treatment system should be evaluated for three months in the post work to ensure the proper functioning of the plant, in addition to rating the limits of minimum water required by the CAPRE standard, in order to function optimally and that the community does not have supply problems. It is necessary to establish preventive maintenance to avoid any changes, both natural and external to drinking water.

This study is a contribution to the improvement of the conditions for the quality of life of the community, water is one of the most important resources for the development of all living beings, mainly for man, to the improvement of the quality of water in these communities, the conditions of health and well-being of the population improved.

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 OBJETIVOS	12
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA	13
2.1.1 <i>Agua Subterránea</i>	14
2.1.2 <i>Agua Superficial</i>	15
2.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA	16
2.3 CALIDAD DEL AGUA	17
2.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	18
2.5 CONCENTRACIONES NATURALES DE IONES EN AGUA SUBTERRÁNEA	19
2.5.1 <i>Compuestos en Forma Aniónica</i>	19
2.5.2 <i>Compuestos en Forma Catiónica</i>	20
2.6 CARACTERÍSTICAS DE AGUA SUBTERRÁNEA	21
2.7 FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS (FIME)	23
2.8 AIREACIÓN	27
2.9 DESINFECCIÓN.....	28
2.10 MARCO LEGAL	29
2.10.1 <i>NTON 05 007 98</i>	29
2.10.2 <i>NTON 09 003 99</i>	30
2.10.3 <i>Norma Regional CAPRE</i>	30
3. DISEÑO METODOLÓGICO.....	33
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	33
3.2 UNIVERSO	33
3.3 UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO	34
3.4 CALIDAD DEL AGUA	35
3.5 USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	37
3.6 CUANTIFICACIÓN DEL CAUDAL	37
3.7 SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO	38

3.8	PROPUESTA DE TRATAMIENTO	38
3.9	ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES	39
3.10	POTABILIDAD DEL AGUA	39
4.	RESULTADOS	40
4.1	CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE CALIDAD DEL AGUA ..	40
4.1.1	<i>Parámetros Físicoquímicos del Agua</i>	<i>40</i>
4.1.2	<i>Parámetros Químicos del Agua</i>	<i>46</i>
4.1.3	<i>Parámetros Microbiológicos del Agua</i>	<i>53</i>
4.1.4	<i>Parámetros Nitrogenados del Agua</i>	<i>55</i>
4.2	COMPARACIÓN DE DATOS OBTENIDOS CON LA NTON 05 007 98	58
4.2.1	<i>Parámetros Organolépticos.....</i>	<i>58</i>
4.2.2	<i>Parámetros Físicoquímicos</i>	<i>59</i>
4.2.3	<i>Parámetros de Sustancias no Deseadas</i>	<i>61</i>
4.2.4	<i>Parámetros para Sustancias Inorgánicas.....</i>	<i>62</i>
4.2.5	<i>Parámetros Bacteriológicos</i>	<i>63</i>
4.3	SELECCIÓN DE TRATAMIENTO	64
4.3.1	<i>Medición ICA.....</i>	<i>64</i>
4.3.2	<i>Selección del Tratamiento.....</i>	<i>65</i>
4.4	DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO	69
4.5	BALANCE DE CONTAMINANTES POR ETAPAS	73
5.	CONCLUSIONES	75
5.1.	RECOMENDACIONES	76
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
	ANEXO A	79
	ANEXO B	86
	ANEXO C	96
	ANEXO D	108

Índice de Figuras

Figura 2.1 Filtro Grueso Dinámico.....	24
Figura 2.2 Corte Isométrico FGAC.....	25
Figura 2.3 Corte Isométrico FGAS.....	25
Figura 2.4 Componentes Básicos de un FLA.....	26
Figura 3.1 Mapa de División Política de Madriz.....	34
Figura 3.2 Puntos de Muestreo en Miquilse, San Lucas.....	35
Figura 4.1 Valores de Temperatura.....	42
Figura 4.2 Valores de Concentración de Oxígeno Disuelto.....	43
Figura 4.3 Valores de Conductividad Eléctrica.....	44
Figura 4.4 Valores de Sólidos Totales Disueltos.....	45
Figura 4.5 Valores de Color.....	46
Figura 4.6 Valores de Turbiedad.....	46
Figura 4.7 Valores de pH.....	48
Figura 4.8 Valores de Dureza Total.....	49
Figura 4.9 Valores de Sulfatos.....	50
Figura 4.10 Valores de Cloruros.....	51
Figura 4.11 Valores de Fluoruros.....	51
Figura 4.12 Valores de Alcalinidad.....	52

Figura 4.13 Valores de Aluminio.....	53
Figura 4.14 Valores de Hierro.....	54
Figura 4.15 Valores de Coliformes Fecales.....	55
Figura 4.16 Valores de Coliformes Totales.....	55
Figura 4.17 Valores de Nitratos.....	57
Figura 4.18 Valores de Nitritos.....	57
Figura 4.19 Valores de Amonio.....	58
Figura 4.20 Diagrama de Selección de Tratamiento por ICA.....	68

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Parámetros Bacteriólogos.....	30
Tabla 2.2 Parámetros Organolépticos.....	31
Tabla 2.3 Parámetros Fisicoquímicos.....	31
Tabla 2.4 Parámetros para Sustancias Indeseables.....	32
Tabla 3.1 Sitios de Muestreos.....	33
Tabla 3.2 Medición de Parámetros y Método a utilizar.....	36
Tabla 4.1 Parámetros Físicos, Comunidad Miquilse.....	41
Tabla 4.2 Parámetros Químicos, Comunidad Miquilse.....	47
Tabla 4.3 Parámetros Microbiológicos, Comunidad Miquilse.....	54
Tabla 4.4 Parámetros Nitrogenados, Comunidad Miquilse.....	56
Tabla 4.5 Comparación NTON 0500798 Parámetros Organolépticos.....	59
Tabla 4.6 Comparación NTON 0500798 Parámetros Fisicoquímicos.....	60
Tabla 4.7 Comparación NTON 0500798 Parámetros de Sustancias no Deseadas....	62
Tabla 4.8 Comparación NTON 0500798 Parámetros para sustancias Inorgánicas....	63
Tabla 4.9 Comparación NTON 0500798 Parámetros Bacteriológicos.....	64
Tabla 4.10 Valores de ICA.....	65
Tabla 4.11 Comparación de ICA con respecto al uso.....	66
Tabla 4.12 Selección de Tratamiento por FiME.....	67

Tabla 4.13 Valores de Selección ICA.....	67
Tabla 4.14 Valores de Dimensionamiento FGDi.....	69
Tabla 4.15 Valores de Dimensionamiento FGAC.....	70
Tabla 4.16 Valores de Lecho Filtrante.....	70
Tabla 4.17 Valores de Dimensionamiento FLA.....	71
Tabla 4.18 Valores de Dimensionamiento de Aireador de Bandejas.....	71
Tabla 4.19 Valores de Dimensionamiento en Desinfección.....	72
Tabla 4.20 Eliminación de Contaminantes por Etapas.....	73



1. Introducción

El agua es uno de los recursos más importantes para todos los seres vivos, ya que es necesaria para casi todas las funciones biológicas, y sin ella sería difícil la vida. A nivel de distribución, la tierra está cubierta por tres cuartas partes de agua, lo que indica que la existencia de los seres vivos depende en gran medida a ella. Por ello es necesario preservarla y cuidarla, en todas sus formas.

El agua potable es toda aquella que ha sido sometida a tratamiento en una planta potabilizadora. En una planta ocurren un conjunto de procesos mecánicos y naturales que persiguen la eliminación de contaminantes químicos, físicos y biológicos principalmente, para lograr un agua de calidad o dicho de otra manera, un agua que sea consumida por las personas, sin que esta atente con su salud.

A nivel regional, Nicaragua aún tiene problemas en cuanto a la cobertura, continuidad, cantidad y calidad de este vital líquido. Las zonas rurales del país representan las partes más afectadas y olvidadas en el suministro de agua potable. Un ejemplo es la comunidad de Miquilse en el municipio de San Lucas, Madriz; donde existen muchos problemas de distribución de agua en casi todos los hogares. De acuerdo al World Water Council (2010), la cobertura de agua potables es de 80,1% a nivel nacional; de los cuales 95,1% es en áreas urbanas y sólo el 46,0% en zonas rurales.

Miquilse se encuentra localizada en el sector suroeste del departamento de Madriz en el municipio de San Lucas entre 700 a 900 m.s.n.m, sobre las coordenadas 13°24' Latitud Norte y a 86°36' longitud oeste; a 227 km de la capital Managua.

Miquilse es una comunidad que presenta grandes problemas con el agua, debido a la poca disponibilidad de recursos hídricos cercanos; además, los cambios en el clima han ocasionado una sequía muy grave; así como también existen problemas de salud, y de índole económicos. Los habitantes se dedican principalmente a la ganadería y en menor medida a la agricultura. Tiene un abastecimiento de agua mediante pozos comunales, vertientes y en algunos casos se toma agua del Río Miquilse.



DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MIQUILSE, MUNICIPIO DE SAN LUCAS, MADRIZ

El objetivo de este trabajo es conocer la calidad y disponibilidad del agua en Miquilse para buscar y adecuar un tratamiento idóneo que garantice el suministro de agua potable. Así mismo, la calidad del agua se comparó con las Normas CAPRE de agua de consumo humano y las Normativas Obligatoria Nicaragüense NTON 05-100-98 para clasificar los recursos hídricos de acuerdo a su posible uso ya sea para consumo doméstico o agrícola y dimensionar una Planta de Tratamiento de Agua, con el fin de abastecer a la comunidad de Miquilse en el municipio de San Lucas del Departamento de Madriz.



1.1 Objetivos

Objetivo General

Diagnosticar el estado actual y propuesta de tratamiento para los recursos hídricos de la comunidad de Miquilse, en el Municipio de San Lucas, Madriz.

Objetivos Específicos

- Interpretar los resultados de la calidad fisicoquímica y microbiológica de agua en los sitios de muestreo.
- Comparar los resultados de la calidad del agua con la NTON 05 007 98 para clasificar el agua de acuerdo a su posible uso.
- Seleccionar el tipo de tratamiento de potabilización de acuerdo a los datos de calidad de agua y las condiciones socioeconómicas de la comunidad.
- Dimensionar las unidades de tratamiento propuestas.
- Elaborar el balance de contaminantes de acuerdo a las etapas de tratamientos propuestas.
- Comparar la calidad del agua tratada con la Norma CAPRE de agua de consumo humano.
- Mencionar los posibles impactos negativos por actividades antropogénicas en las proximidades de las fuentes para elaborar medidas de mitigación.



2. Marco Teórico

En esta sección se presenta los conceptos teóricos relativos a la calidad del agua subterránea, los efectos en la salud y los posibles tratamientos que ésta deba recibir para que sea apta al consumo humano.

2.1 Clasificación de las Fuentes de Agua

El agua en el planeta se puede clasificar de la siguiente manera:

Agua Subterránea

Agua Superficial

Tanto el agua subterránea como las aguas superficiales, son las que potencialmente pueden servir para consumo humano. Dentro de las aguas superficiales se tienen las aguas de manantial, y en menor escala, el agua de mar aún en estudio.

En Nicaragua se utiliza frecuentemente como fuente de agua para potabilizar las aguas subterráneas al igual que las aguas superficiales dependiendo de la geología del sitio a abastecer. Debido a que la contaminación del agua superficial ha incrementado en los últimos años lo cual provoca un incremento en los costos del tratamiento del agua, el uso de agua subterránea también ha aumentado significativamente a pesar de que el agua superficial es un recurso muy abundante en el país.

Un estudio realizado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América (CIEUA, 2001), demostró que el agua subterránea en el país es una alternativa muy razonable, ante la inminente contaminación del agua superficial; expresando que: *“Los recursos del agua subterránea se usan en todos los sectores de la economía. Aproximadamente el 90% de la producción de agua proviene de los pozos. Las planicies aluviales, las tierras bajas y la depresión Nicaragüense abarcan aproximadamente el 55% del país y contienen aproximadamente el 80% de las reservas de agua disponibles”*.



Dos aspectos importantes se tocan en este estudio (CIEUA, 2001): la utilización del agua de pozos en el sector económico del país y la gran disponibilidad en las partes bajas de agua. Es por ello la gran importancia del agua subterránea en Nicaragua.

2.1.1 Agua Subterránea

En Nicaragua, el agua potable en su mayoría proviene de fuentes de origen subterráneo de allí su gran importancia. El agua subterránea tiene un gran papel en los procesos geofísicos como también en la formación de ciertos componentes minerales. Hay que destacar que la calidad de esta agua depende en gran medida de las formaciones rocosas en la cual se encuentran confinada.

“Físicamente una característica importante de tales formaciones (rocosas) es su porosidad, que determina el porcentaje de volumen de roca disponible para contener agua. Otra característica física importante es la permeabilidad, que describe el paso de flujo de agua a través de la roca” (Manahan, 2007). Ambas características están estrechamente relacionadas, si existe una permeabilidad alta es debido a una alta porosidad, o bien todo lo contrario, si una es baja la otra también lo será.

La mayor parte de las aguas de origen subterráneo son producto de fenómenos naturales como la lluvia, y en países cercano a los polos, debido a la nieve. Dichas aguas antes de penetrar en las formaciones rocosas son conocidas como aguas meteóricas. La permeabilidad de las aguas meteóricas es la causa principal de que exista agua debajo del manto freático. Existe una zona de aireación que incluye la humedad del suelo, donde se da el paso de las aguas meteóricas hasta que llega a una zona capilar. La otra zona es la saturada en la cual se encuentra toda el agua que pasó por la zona de aireación (ONU, 2012).

El fenómeno de transporte de momento y masa del agua por el manto freático, es conocido como dispersión mecánica, que resultan de las variaciones de trayectoria que sigue en distintas porciones el agua y también debido a los cambios de velocidad en la misma cuando pasa por las formaciones rocosas (Mihelcic, 2008).



Una de las desventajas que tiene el agua subterránea con respecto al agua superficial, es que su flujo es mucho más lento. Al combinar esto con los grandes volúmenes de depósito de agua subterránea entonces el transporte de la misma, es muy lento.

Si el agua que se encuentra en la zona donde los poros y la fuerza de presión favorecen a que se dé la permeabilidad hasta pasar por la zona capilar, entonces debe de tenerse mucho cuidado con la calidad de agua que se está filtrando a la zona de saturación. Es por ello que si se filtra agua contaminada, aunque los tiempos de residencia del agua en las formaciones rocosas sean mayores, esto contaminaría en gran medida las aguas subterráneas.

2.1.2 Agua Superficial

El agua superficial es aquella que se encuentra circulando o en reposo sobre la superficie de la tierra. Esas masas de agua sobre la superficie de la tierra forman: ríos, lagos, lagunas, pantanos, charcas, humedales y otros similares, sean estos de origen natural o artificial.

Dicha agua es proveniente de las precipitaciones, que no logran infiltrarse ni regresar a la atmósfera y cumplen el ciclo hidrológico, o bien, puede provenir de manantiales u ojos de aguas que tienen su origen en aguas subterráneas.

Una de las principales fuentes de aguas superficiales utilizadas para la potabilización son los ríos. Estos tienen la ventaja de poseer una constante escorrentía, y si no sufre de factores externos de contaminación, su agua puede ser más fácilmente tratada.

“Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad y siempre por gravedad discurre de las partes altas hacia las bajas. Posee un caudal determinado y finalmente desemboca en el mar, lago u otro río, en este último caso se le denomina afluente. Algunas veces terminan en zonas desérticas donde sus aguas se pierden por infiltración y evaporación” (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, 2010).



2.2 Contaminación del Agua Subterránea

La contaminación es la alteración de las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del agua por la acción de procesos naturales y artificiales que producen resultados indeseables. La contaminación puede ser natural o artificial. La artificial puede dividirse en directa o inducida (Auge, 2006).

Contaminación Natural: es la producida por el contacto con formaciones sedimentarias marinas y salinas o por yacimientos metalíferos, radioactivos y/o petrolíferos. En estos casos se incorpora al agua subterránea, las sustancias que integran estas formaciones (Collazo & Montaña, 2012).

Contaminación Artificial: es la más común y se la puede clasificar de acuerdo al sitio donde se produce (urbana y rural) o la actividad que la genera (Collazo & Montaña, 2012).

Contaminación Artificial Urbana: se genera por vertidos domésticos, perdidas en redes cloacales, lixiviados de vertederos, lixiviados de la industria, entre otros (Collazo & Montaña, 2012).

Contaminación Artificial Rural: es provocada por el empleo indiscriminado de agroquímicos, a causa de efluentes, etc., (Collazo & Montaña, 2012).

Contaminación Artificial Inducida: se genera por salinización de un acuífero, debido a la sobreexplotación de pozos en áreas costeras entre otras (Collazo & Montaña, 2012).

“La contaminación del agua subterránea es más difícil de detectar que la del agua superficial debido a que no está visible, provocando mayor duración del contaminante en el medio, una vez que es detectada es posible que haya afectado una gran proporción del acuífero. Determinada la contaminación del agua, se debe identificar la fuente de contaminación y por lo tanto el contaminante, su movilidad, su toxicidad y persistencia” (Collazo & Montaña, 2012).



2.3 Calidad del Agua

La calidad de cualquier cuerpo de agua, sea ésta superficial o subterránea depende básicamente de dos factores: el humano y la naturaleza. Si los humanos no actuaran directamente sobre la calidad del agua subterránea, ésta dependería básicamente de fenómenos geofísicos como la erosión del sustrato mineral por acción de la evapotranspiración, sedimentación de lodos y sales, lixiviación natural de materia orgánica y los procesos en el medio acuático que alteran la calidad física y química de la misma (ONU, 2012).

Se entiende como calidad de agua al conjunto de propiedades, físicas, químicas y biológicas que componen un cuerpo de agua en una localidad en particular. Hay que destacar que la misma depende mucho de la ubicación geográfica en la cual se encuentre.

“La salud de los seres humanos, la vida silvestre y los ecosistemas dependen de los suministros adecuados de agua limpia. Sin embargo, a medida que las poblaciones crecen y se expanden hacia zonas antes no urbanizadas, los gobiernos enfrentan cada vez mayores dificultades para asegurar la calidad del agua” (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2002).

La calidad del agua va más allá de una condición de la misma, hay que considerar que esta afecta directamente a la salud de los seres humanos y del medio que la usa.

“Los parámetros principales que determinan la calidad del agua (temperatura, conductividad, turbiedad, pH, oxígeno disuelto) se pueden medir fácilmente y constituyen una manera de clasificar posibles factores de estrés para la salud del sistema acuático. Además, otras medidas de calidad del agua (nutrientes primarios, sólidos disueltos totales, metales pesados, agentes patógenos, compuestos orgánicos) ayudan a caracterizar la calidad del agua y a determinar los posibles impactos en la vida acuática y en seres humanos” (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2003).

El concepto de calidad de agua, tiende a generar ambigüedades porque químicamente no existe una molécula pura de agua en la naturaleza con la cual se compare. Por ello la calidad de agua al final resulta algo que es relativo, pero que



se rige por normativas que permiten límites para cual sea el uso que se la va aplicar (González Tapia, 2002).

2.4 Composición Química de las Aguas Subterráneas

La capacidad de disolución de los iones en las aguas subterráneas es una de las más amplias, ya que al estar en contacto directo con las rocas se da la formación de iones, lo que afecta la calidad del agua. La importancia de tener un control en las aguas subterráneas radica en que es potencialmente usada para la potabilización y por ende para el consumo humano. Otro de los aspectos a considerar es que en la precipitaciones también el agua contiene ciertas sustancias químicas y al entrar en contacto con el suelo éstas enriquecen su contenido (Altamirano, 2005).

Principalmente las especies en las aguas subterráneas se encuentran en cationes y aniones por lo que resulta conveniente hacer esa separación. Los principales iones que se encuentran en el agua en forma de aniones son los bicarbonatos (HCO_3^-) como ion dominante, además de sulfatos (SO_4^{2-}), cloruros (Cl^-); mientras que entre los principales cationes se encuentran el calcio (Ca^{2+}), el magnesio (Mg^{2+}) y el sodio (Na^+). Los aniones nitratos (NO_3^-) y carbonatos (CO_3^{2-}), así como el catión potasio (K^+) se consideran dentro del grupo de los iones fundamentales aun cuando por lo general la porción que aportan es pequeña. Otros iones incluyen al ión hierro (Fe^{2+}). Hay que tomar en cuenta a los gases que tienen una gran relevancia, en particular el dióxido de carbono (CO_2) y el oxígeno (O_2).

Las sustancias disueltas poco ionizadas o en estado coloidal son importantes para los ácidos y aniones derivados de la sílice en forma de SiO_2 . Los demás iones y sustancias disueltas se encuentran por lo general en menores cantidades y por ello reciben el nombre de iones menores. Estos forman parte del 1% del contenido iónico total incluyendo los elementos de trazas, que son aquellos que están presentes en cantidades medibles con técnicas especiales (Custodio & Llamas, 2001).



2.5 Concentraciones Naturales de Iones en Agua Subterránea

En esta sección se realiza una división entre los aniones y cationes presentes comúnmente en el agua subterránea:

2.5.1 Compuestos en Forma Aniónica

Cloruros: la concentración del ión cloruro (Cl^-) se encuentra en aguas naturales en un rango de 10 mg/L a 250 mg/L, sin embargo se pueden encontrar contenidos de cloruros mayores a 3 000 mg/L. En salmueras naturales, próximas a la saturación de cloruro de sodio (NaCl), se puede llegar a casi 200 000 mg/L. El agua de mar contiene alrededor de 20 000 mg/L de iones cloruros.

El ión cloruro no forma sales de baja solubilidad, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, ni es adsorbido significativamente ni entra a formar parte de procesos bioquímicos, lo que le da un carácter de trazador casi ideal (Custodio & Llamas, 2001).

Sulfatos: en aguas dulces la concentración normal de sulfato puede variar de 2 mg/L a 150 mg/L. El ión sulfato está sometido a procesos de reducción especialmente en presencia de bacterias y de materia orgánica. En ambientes reductores, a pH menor a 7, la forma reducida estable es el H_2S . En soluciones alcalinas predomina el ión HS^- (Custodio & Llamas, 2001). El ión sulfato procede del lavado de terrenos formados en ambientes marino y de la oxidación de sulfuros ampliamente distribuidos en rocas ígneas y sedimentarias.

Bicarbonatos y Carbonatos: dichos iones son los causantes principales de la alcalinidad en el agua, ya que tienen la capacidad de consumo de ácido por lo cual son responsables de generar una solución tampón o buffer. Estos iones no son oxidables ni reducibles en aguas naturales y pueden precipitar como carbonato de calcio (CaCO_3). El ión bicarbonato se encuentra en el agua en un rango de 50 mg/L a 350 mg/L, y a veces puede llegar en algunas aguas hasta los 800 mg/L. En aguas subterráneas naturales con pH inferior a 8.3, la especie carbonatada dominante es el ión bicarbonato (Custodio & Llamas, 2001).

Nitratos: el ion nitrato tiene tendencia a ser muy estable, pero en un medio reductor puede pasar a N_2 o NH_4 y en excepciones a NO_2^- . El ión nitrato se



encuentra normalmente en concentraciones de 0,1 mg/L a 10 mg/L, pero en aguas contaminadas puede llegar hasta los 1 000 mg/L. En medio oxidantes los compuestos nitrogenados pasan a NO_3^- (Custodio & Llamas, 2001).

Sílice: el origen de la sílice en el agua subterránea se debe a los procesos de hidrólisis de feldespatos y silicatos en general. La mayoría de las aguas subterráneas presentan concentraciones entre 1 mg/L a 140 mg/L de SiO_2 y estas hasta pueden llegar a los 1 000 mg/L, en especial las aguas bicarbonatadas sódicas (Custodio & Llamas, 2001).

2.5.2 Compuestos en Forma Catiónica

Calcio: es el catión principal en la mayoría de las aguas subterráneas debido a su amplia difusión en las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. En las rocas ígneas aparece como constituyente esencial de los silicatos, especialmente en el grupo de las plagioclasas. En las rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonato de calcio (CaCO_3).

Las concentraciones de calcio en agua dulce varían de 10 mg/L a 250 mg/L, muchas veces puede alcanzar hasta los 600 mg/L en terrenos donde prevalece yesos, y en salmueras de cloruro de calcio (CaCl) puede llegar a los 50 000 mg/L. Estas sales varían de moderadamente solubles a muy solubles. Es muy fácil de precipitar como carbonato de calcio. Es químicamente similar a los iones de bicarbonatos y carbonatos en aguas natural, por ende se hace fácil la precipitación del mismo compuesto con sólo cambiar el pH (Custodio & Llamas, 2001).

Magnesio: el ión magnesio es menos abundante en aguas naturales que el calcio. Este se origina de la disolución de rocas carbonatadas (dolomitas y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos.

Los procesos de intercambio iónico influyen en las concentraciones de magnesio en aguas subterráneas. En ellas el magnesio es retenido con preferencia al calcio en suelos y rocas. En aguas dulces naturales, el contenido del ión magnesio no suele sobrepasar los 40 mg/L. En terrenos calcáreos puede elevarse hasta 100 mg/L y en terrenos evaporíticos puede alcanzar valores de 1 000 mg/L (Custodio & Llamas, 2001).



Sodio: las concentraciones de ión sodio se presenta entre 1 mg/L a 150 mg/L en aguas dulces, no es de extrañar encontrar valores mayores a estos ya que también se puede encontrar en concentraciones de miles de mg/L. La solubilidad del ión sodio es muy elevada y difícil de precipitar, es muy afectado por el cambio de bases, y suele ser asociado al ión cloruro (Custodio & Llamas, 2001).

Potasio: este ión tiende a fijarse irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en las superficies de minerales con alta capacidad de intercambio iónico, por ello su concentración en aguas naturales es generalmente mucho menor que la del sodio. Es un ión muy soluble y difícil de precipitar, afectado fácilmente por el cambio de bases y absorbido de forma muy poco reversible por las arcillas en formación (montmorillonita a illita), para formar parte de las estructuras, circunstancias que lo diferencian del sodio. Las concentraciones del ión potasio varían de 0,1 mg/L a 10 mg/L en aguas dulces (Custodio & Llamas, 2001).

Hierro: la concentración de este elemento en el agua está controlada por procesos de equilibrio químico como oxidación-reducción, precipitación y disolución de hidróxidos, carbonatos y sulfuros.

Valores de concentración de hierro entre 1 mg/L a 10 mg/L son comunes aunque en aguas donde el pH se encuentra entre 6 a 8. Pueden presentarse concentraciones de hasta 50 mg/L cuando los bicarbonatos se encuentran por debajo de los 61 mg/L. Lo más normal es que se encuentre en concentraciones inferiores a 0,1 mg/L (Custodio & Llamas, 2001).

2.6 Características de Agua Subterránea

Existen muchas características, aunque no son sólo de las aguas subterráneas como tal sino que también de manera general corresponde al agua en general. Dichos parámetros de medida física se describen a continuación:

Temperatura: en las aguas subterráneas es poco variable y por lo general adoptan las temperaturas de la media anual atmosférica del lugar donde se encuentran. Hay que destacar que cuando existen microorganismos dentro del medio acuático subterráneo la temperatura juega un papel importante, siendo esta



la que determina el crecimiento y metabolismo de los microorganismos, por lo general bacterias (Manahan, 2007).

Conductividad Eléctrica: esta propiedad depende básicamente de la concentración de iones que se encuentra en el agua. Aunque debe considerarse que la conductividad eléctrica tiene un límite porque el agua como sustancia pura tiene su capacidad máxima para conducir la corriente eléctrica (Mihelcic, 2008).

La variación en la temperatura provoca que haya un cambio notable en la conductividad eléctrica. Cuando existen disoluciones diluidas se estima que el aumento de temperatura en 1°C se traduce en un aumento del 2% en la conductividad (Custodio & Llamas, 2001).

pH: el concepto de pH es de gran importancia ya que muchas veces al tratar ciertos componentes que son ácidos o bases, se requiere neutralizar, o bien mantener un pH estable en los tratamientos químicos y biológicos para proporcionar a los microorganismos un ambiente óptimo para su desarrollo (Mihelcic, 2008).

El pH por definición no es más que el logaritmo en base diez negativos de la concentración de iones de hidrógeno y tiene unidades de molaridad (moles/L).

“La escala de pH en los sistemas de aguas varía de 0 a 14; las soluciones ácidas tienen un pH menor a 7, las soluciones básicas tienen un pH superior a 7 y las neutras uno cercano a 7. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH cercano a neutro. En realidad el 95% de las aguas naturales tienen un pH entre 6 y 9, y la mayor parte del agua de lluvia, no afectada por emisiones antropogénicas que hacen que se forme lluvia ácida, tiene un pH de 5 a 6 debido a la presencia de dióxido de carbono” (Mihelcic, 2008).

Demanda Química de Oxígeno: esta característica es la que mide la capacidad de consumir oxígeno durante los procesos químicos. Los valores comunes en aguas subterráneas son de 1 mg/L a 5 mg/L de O₂ (Collazo & Montaña, 2012)

Demanda Biológica de Oxígeno: es la medida de la cantidad de oxígeno necesario para consumir materia orgánica contenida en el agua mediante



procesos biológicos aeróbicos. Es una medida importante de la contaminación del agua y debe referirse a un cierto tiempo (5 días). Los valores de 1 mg/L de O₂ indican contaminación (Collazo & Montaña, 2012).

2.7 Filtración en Múltiples Etapas (FiME)

El tratamiento de agua en comunidades rurales se selecciona considerando principalmente la calidad de agua y los aspectos que se refieren a la vulnerabilidad y riesgo que este tipo de tratamiento conlleva.

La Filtración en Múltiples Etapas (FiME) resulta una de las más favorables opciones a considerar un tratamiento en zonas rurales, que consiste, en la conglomeración de distinto tipos de filtración, principalmente la filtración gruesa en grava y los filtros lentos de arena. A como anteriormente se menciona, este tipo de tratamiento está en dependencia de un detallado proceso de análisis técnico, social y de las capacidades de construcción y de operación de la planta.

“La FiME puede estar conformada por dos o tres procesos de filtración, dependiendo del grado de contaminación de las fuentes de agua. Integrada por tres procesos: Filtros Gruesos Dinámicos (FGDi), Filtros Gruesos Ascendentes en Capas (FGAC) y Filtros Lentos de Arena (FLA). Los dos primeros procesos constituyen la etapa de pretratamiento, que permite reducir la concentración de sólidos suspendidos” (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

La elección en usar uno u otro filtro depende en gran manera a la calidad de agua y lo que se quiere llegar con ella. Dicha tecnología es sencilla, confiable y eficiente, ya que se obtiene un agua con baja turbiedad, libre de impurezas suspendidas y en muchos casos se considera que en este tipo de filtración se libera de entero-bacterias, entero-virus y quistes protozoarios.

Filtración Gruesa Dinámica (FGDi)

Los tanques que funcionan como filtros contienen una capa delgada de grava fina (6 mm a 13 mm) en la superficie, sobre un lecho de grava más grueso (13 mm a 25 mm) y un sistema de drenaje en el fondo.



En esta parte de la filtración se da una reducción en los picos de turbiedad y sirve de protección de la planta ante las altas cargas de sólidos transportadas por la fuente durante pocas horas. Uno de los problemas se presenta cuando los valores elevados de sólidos fácilmente sedimentables se depositan en la superficie del lecho de la grava, ocasionando una película en la misma y restringe el paso del agua.

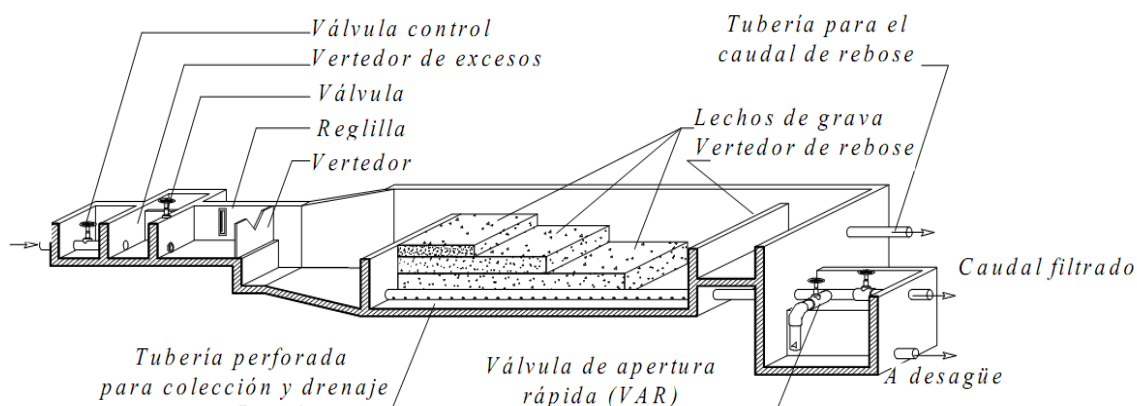


Figura 2.1 Filtro Grueso Dinámico.

Fuente: Organización Panamericana de la Salud; 2005.

Filtración Gruesa (FG)

Estos básicamente están conformados de gravas, y ellos a su vez pueden ser de flujo horizontal o vertical. El tamaño de los granos de la grava disminuye con la dirección del flujo.

“Conforme funciona el filtro, los espacios vacíos se van colmando con las partículas retenidas del agua, por lo cual se requiere una limpieza semanal controlada mediante las válvulas de apertura a la salida de la unidad” (Organización Panamericana de la Salud, 2005).



DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MIQUILSE, MUNICIPIO DE SAN LUCAS, MADRIZ

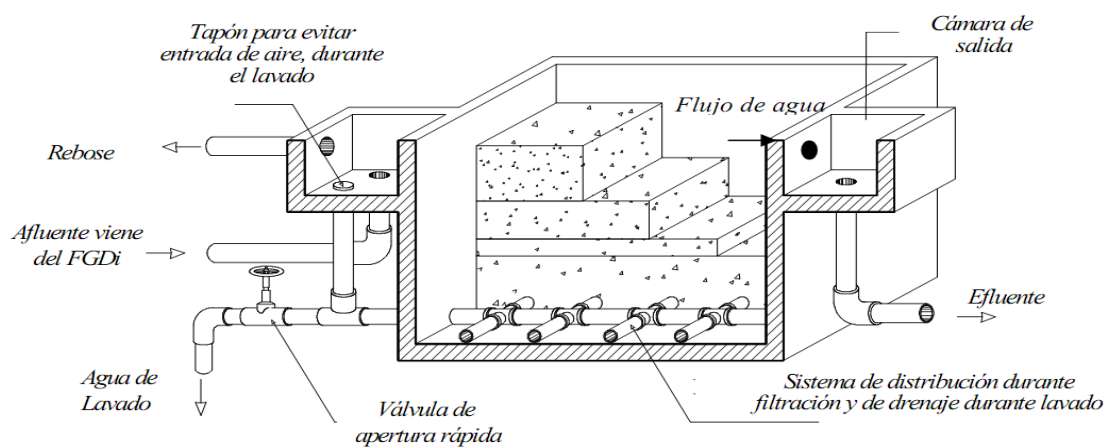


Figura 2.2 Corte Isométrico FGAC.

Fuente: Organización Panamericana de la Salud; 2005.

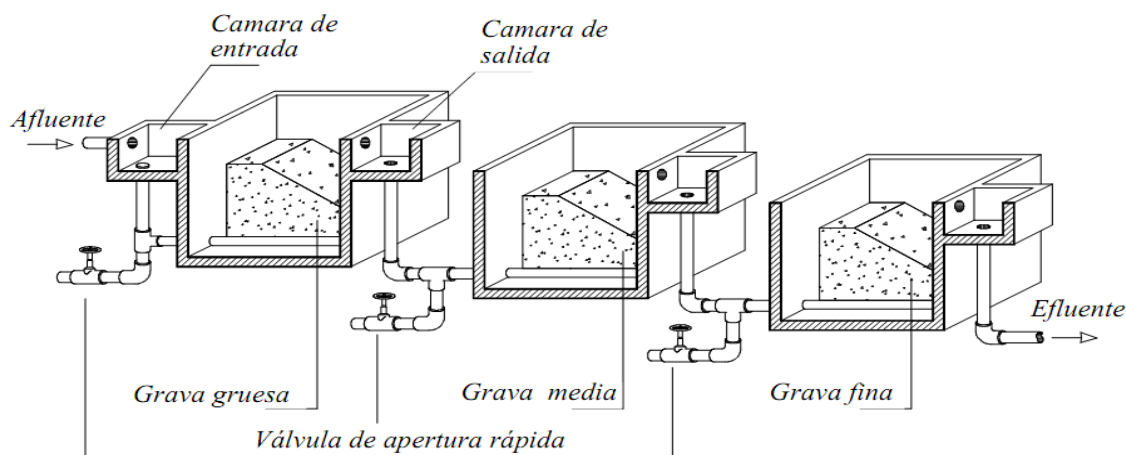


Figura 2.3 Corte Isométrico de un FGAS.

Fuente: Organización Panamericana de la Salud; 2005



Filtro Lento de Arena (FLA)

Este tipo de tratamiento por filtración es un conjunto de mecanismos de naturaleza biológica y física, donde se da una interacción compleja que persigue el fin de mejorar la calidad microbiológica del agua.

“Consiste en un tanque con un lecho de arena fina, colocado sobre una capa de grava que constituye el soporte de la arena la cual, a su vez, se encuentra sobre un sistema de tuberías perforadas que recolectan el agua filtrada. El flujo es descendente, con una velocidad de filtración muy baja que puede ser controlada preferiblemente al ingreso del tanque” (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

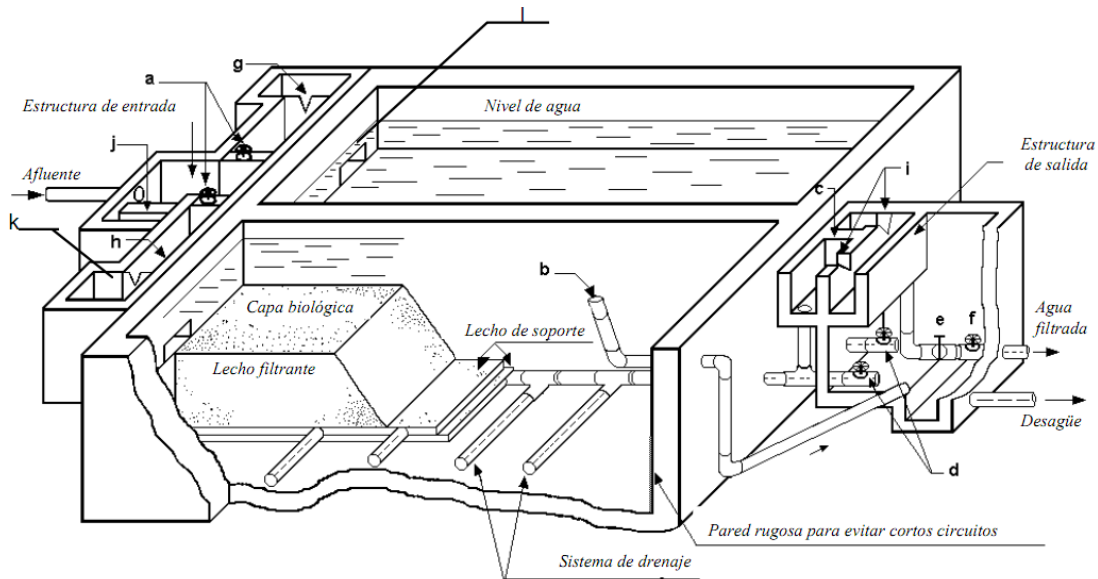


Figura 2.4 Componentes Básicos de un FLA

Fuente: Organización Panamericana de la Salud; 2005.



2.8 Aireación

La etapa de aireación es una de las más importantes dentro del tratamiento de agua, y en los sistemas de purificación de la misma. La aireación se dice que “*es un proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto con el aire con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella*” (Romero Rojas, 1999).

Entre las funciones más importantes de la aireación se encuentran:

- Transferir oxígeno al agua para aumentar el oxígeno disuelto
- Disminuir la concentración de dióxido de carbono
- Disminuir la concentración de ácido sulfhídrico
- Remover gases como metano, cloro y amoníaco
- Oxidar hierro y manganeso
- Remover compuestos orgánicos volátiles
- Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores

Existen principalmente dos tipos de aireadores: aireadores de caída de agua (agua en aire) y aireador manual para remoción de hierro y manganeso. En los aireadores de caída de agua se pueden dividir principalmente en tres:

Aireadores de Fuentes o Surtidores: consisten en una serie de toberas fijas, sobre una malla de tuberías, las cuales dirigen el agua hacia arriba, verticalmente o en un ángulo inclinado de tal manera que se rompe en gotas pequeñas. Este tipo de aireadores se utilizan principalmente para la remoción de dióxido de carbono y en algunos casos para adicionar oxígeno al agua (Romero Rojas, 1999).

Aireadores de Bandejas Múltiples: estos consisten en una serie de bandejas equipadas con ranuras, fondos perforados o mallas de alambres en las cuales se da la distribución del agua del agua para que posterior a esta acción, se recolecte en un tanque que se ubica en la base (Romero Rojas, 1999).



Aireadores en Cascada y Vertederos: en este tipo de aireadores el agua se deja caer en láminas o capas delgadas sobre uno o más escalones de concreto. Aunque el aireador de cascada provoca pérdidas de energía bastante considerables, este es bien práctico (Romero Rojas, 1999).

2.9 Desinfección

La desinfección es el proceso que favorece la destrucción de los organismos patógenos. La desinfección del agua se puede hacer por la ebullición del agua, radiación ultravioleta, y químicos como el cloro para lograr la inactivación de patógenos.

En los procesos de tratamiento de aguas, los agentes patógenos y otros organismos pueden ser parcialmente eliminados físicamente a través de la coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Después de la filtración, para asegurar que el agua libre de patógenos, la adición química de cloro (llamado cloración), es el más ampliamente utilizado para la desinfección de agua potable. Este tipo de desinfección es ampliamente utilizada, ya que tiene un costo más bajo con respecto a otros tipos de desinfección como el tratamiento de radiación ultravioleta.

La cloración sirve no sólo para la desinfección, sino como sirve como oxidante de otras sustancias (hierro, manganeso, cianuro, etc.) además de controlar el gusto y el olor en el agua y las aguas residuales. Otros desinfectantes químicos incluyen dióxido de cloro, ozono, bromo, y yodo. Los dos últimos son productos químicos generalmente utilizados para la aplicación personal, no para el servicio público (Lin & Lee, 2007).



2.10 Marco Legal

La clasificación de los recursos hídricos se basa en la Normativa Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON 05 007 98) y la potabilización del agua se fundamenta en la NTON 09 003 99 y en la Norma Regional CAPRE, las cuales se discuten a continuación:

2.10.1 NTON 05 007 98

La Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON 05 007 98) es la que se aplica para la clasificación de recursos hídricos, en la cual se considera los parámetros para determinar la calidad del agua en los cuerpos de agua, de acuerdo a los usos que se asigne a estos. De acuerdo con esta norma existen 6 tipos de aguas (Anexo 1):

Tipo 1: Aguas destinadas para el uso doméstico y uso industrial, siempre que esta forme parte de un producto o sub producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él. A su vez está dividida en Categoría 1A aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes y Categoría 1B que son aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y/o cloración.

Tipo 2: Aguas destinadas para el uso agropecuario. Al igual que la anterior también tiene una subdivisión de categoría en Categoría 2A aguas para riego de vegetales destinado al consumo humano y Categoría 2B aguas destinada para riego de cualquier otro tipo de cultivo y uso pecuario.

Tipo 3: Aguas marinas o medios costeros destinados a la cría y explotación de moluscos para consumo humano.

Tipo 4: Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia. Este tipo de agua también se divide en dos categorías Categoría 4A que son aguas para el contacto humano total y Categoría 4B aguas para el contacto humano parcial.



Tipo 5: Aguas destinada para usos industriales que no requieren agua potable.

Tipo 6: Aguas destinada a la navegación y generación de energía.

2.10.2 NTON 09 003 99

La Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON 09 003 99) que se aplica en el caso de la potabilización de agua, donde se consideran los principales parámetros para que se dé un abastecimiento del vital líquido garantizando a la vez la calidad del mismo (ver Anexo B).

2.10.3 Norma Regional CAPRE

Son normas de calidad del agua para consumo humano, emitidas por el Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana. En Nicaragua se aplican dichas normas para determinar la calidad del agua potable (CAPRE, 2004).

Tabla 2.1. Parámetros Bacteriológicos.

Origen	Parámetro	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
A. Todo tipo de agua de bebida	Coliformes Termotolerantes	Negativo	Negativo
B. Agua que entra al sistema de distribución	Coliformes Termotolerantes	No debe ser detectado en ninguna muestra de 100 mL	95% de negatividad en un año
	Coliformes Totales	Negativo	4 Bacterias/100 mL
C. Agua tratada en el sistema de distribución	Coliformes Totales	Negativo	4 Bacterias en muestras puntuales
	Coliformes Termotolerantes	Negativo	No debe ser detectado en el 95% de las muestras anuales



DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MIQUILSE, MUNICIPIO DE SAN LUCAS, MADRIZ

Origen	Parámetro	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Agua no Tratada			
1. Pozos/Manantiales	Coliformes Termotolerantes	Negativo	4 Bacterias/100 mL
2. Agua que entra al sistema de distribución	E.Coli	Negativo	Negativo
	Otros Termotolerantes	Negativo	10 Bacterias/100 mL

Tabla 2.2 Parámetros Organolépticos.

Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Color	mg/L (Pt-Co)	1	15
Turbiedad	UNT	1	5
Olor	Factor dilución	0	2°C a 12°C 3°C a 25°C
Sabor	Factor dilución	0	2°C a 12°C 3°C a 25°C

Tabla 2.3 Parámetros Fisicoquímicos.

Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Temperatura	°C	18	30
Concentración de Iones de Hidrógeno	Valor pH	6,5 a 8,5	
Cloro Residual	mg/L	0,5 a 1,0	
Conductividad	µs/cm	400	
Cloruros	mg/L	25	250
Sulfatos	mg/L	25	250
Dureza	mg/L	400	
Calcio	mg/L	100	
Magnesio	mg/L	30	50



DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MIQUILSE, MUNICIPIO DE SAN LUCAS, MADRIZ

Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Sodio	mg/L	25	175
Potasio	mg/L		10
Sólidos Totales Disueltos	mg/L		1 000

Tabla 2.4. Parámetros para Sustancias Indeseables.

Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Cloro Residual	mg/L	0,5-1,0	
Nitratos	mg/L	25	50
Nitritos	mg/L		0,1 a 3,0
Amonio	mg/L	0,05	0,5
Hierro	mg/L	0,1	0,3
Manganeso	mg/L	0,1	0,3
Fluoruro	mg/L		0,7 a 1,5



3. Diseño Metodológico

En esta sección se describe la metodología a ser aplicada a este estudio, además que se presentan los sitios de muestreo en la comunidad de Miquilse, la metodología a seguir para el diagnóstico de los recursos hídricos, así como la información pertinente para el diseño de la propuesta de tratamiento.

3.1 Tipo de Investigación

Este estudio es una investigación del tipo “Diseño y evaluación tecnológica” donde se diagnosticó el estado de los recursos hídricos usando la base de datos de calidad de agua de Palacios (2013), sus efectos, así como la propuesta del diseño de un sistema de tratamiento de agua para las fuentes de la comunidad de Miquilse, departamento de Madriz. En la evaluación se usará información de otros estudios pertinentes a la temática a abordar.

3.2 Universo

El universo en el cual se realizó este estudio fueron cuatro puntos en la comunidad de Miquilse, en el Municipio de San Lucas, Madriz. Los sitios son descritos en la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Sitios de Muestreos.

Nombre del Sitio de Muestreo	Coordenadas		Tipo de Fuente
	X	Y	
Afloramiento	13°24'17.47 N	86°38'17.47'' W	Manantial (Mn)
Grifo Comunal	13°24'36.93'' N	86°38'51.15'' W	Agua Subterránea (AS)
Aguas Arriba	13°23'53.92'' N	86°38'24.32'' W	Agua Subterránea (AS)
Aguas Abajo	13°24'09.58'' N	86°38'22.57'' W	Agua Subterránea(AS)



3.3 Ubicación de los Sitios de Muestreo

En las siguientes figuras se ubica los sitios de muestreo en la comunidad de Miquilse, municipio San Lucas, Madriz.

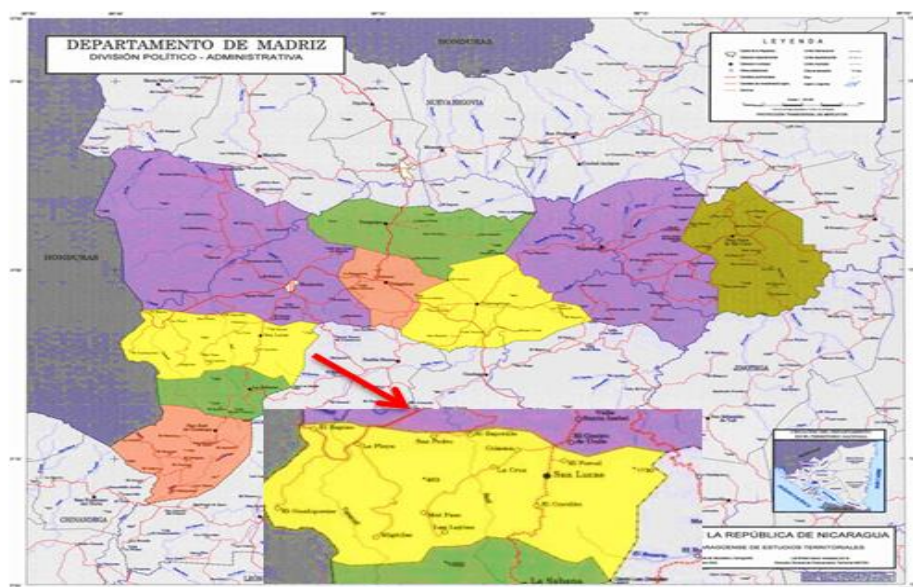


Figura 3.1 Mapa de División Política de Madriz.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales; 2014.

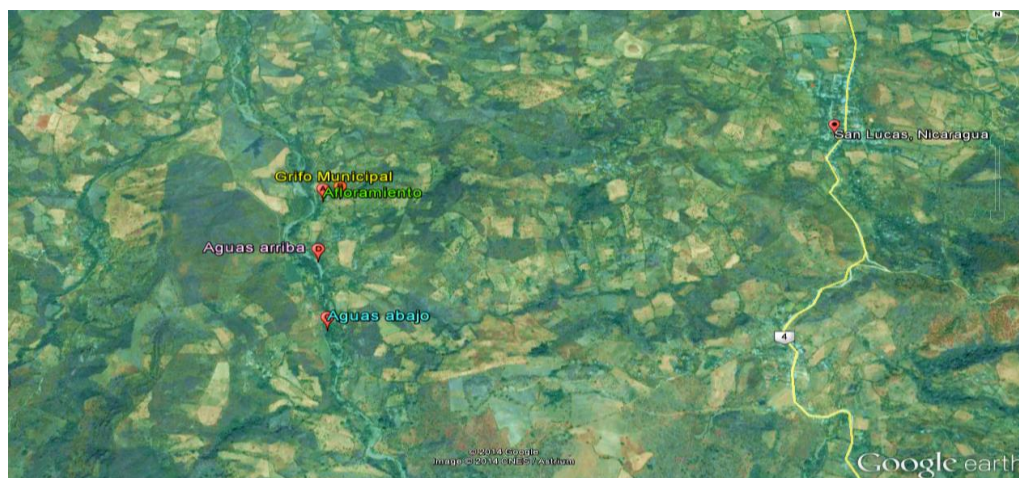


Figura 3.2 Puntos de Muestreo en Miquilse, San Lucas.

Fuente: Google Earth; 2014.



3.4 Calidad del Agua

Palacios (2013) determinó los parámetros de calidad del agua mediante mediciones in situ y en el laboratorio de Ingeniería Ambiental en la Facultad de Ingeniería Química (FIQ-UNI). La toma de muestra según Palacios (2013) empezó a partir de las 7 am.

En la siguiente tabla se presenta el listado de parámetros que se determinaron, el lugar donde se efectuó la medición y el método de análisis que se usó. Las muestras se preservaron de acuerdo a los protocolos del Standard Methods (SM) (Eaton et al., 2012) y del Manual de Espectrofotómetro HACH DR 5000 (HACH, 2005).

Los datos obtenidos se utilizaron para ser comparados con la NTON 05 007 98, que se encarga de clasificar el agua en dependencia a su uso. Además que se hará otra comparación para con la Norma CAPRE, para saber si esta es apta al consumo humano.

Tabla 3.2 Medición de Parámetros y Método a utilizar.

Parámetro	Unidad	Lugar	Método
Temperatura	°C	In situ	Termómetro
pH	-	In situ	Potenciometría
Turbiedad	NTU	In situ	Turbidímetro
Conductividad Eléctrica	µS/cm	In situ	Electrometría
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	In situ	Electrometría
Oxígeno Disuelto	mg/L	In Situ	Electrometría
Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8025
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Laboratorio	Método de Titulación EDTA, SM 2340 C
Calcio (Ca ²⁺)	mg/L	Laboratorio	Método de Titulación EDTA, SM 3500-Ca B
Magnesio (Mg ²⁺)	mg/L	Laboratorio	Método Calculado, SM 3500-Mg B
Sodio (Na ⁺)	mg/L	Laboratorio	Método Fotométrico de Emisión de Llama, SM 3500-Na B



DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MIQUILSE, MUNICIPIO DE SAN LUCAS, MADRIZ

Parámetro	Unidad	Lugar	Método
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	Laboratorio	Método de Titulación, SM 2320 B
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8171
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8507
Amonio (NH ₄)	mg/L	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8038
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8051
Hierro Ferroso (Fe ²⁺)	mg/L	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8146
Hierro Total	mg/L	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8008
Manganeso (Mn ²⁺)	mg/L	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8034
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8012
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8029
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	Laboratorio	Espectrometría, Método Argentométrico, SM 4500-Cl-B
Cloro Libre	mg/L	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8021
Boro (B)	mg/L	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8015
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	mg/L	Calculado	SM 2330-B
Carbonatos (CO ₃ ⁻)	mg/L	Calculado	SM 2330-B
Arsénico (As ³⁺ , As ⁵⁺)	µg/L	Laboratorio	Absorción Atómica
Índice de Salinidad		Laboratorio	SAR
Fósforo Total (P)	mg/L	Laboratorio	Espectrometría, HACH 8190 Test Vial
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	Laboratorio	Filtración por Membrana
Coliformes Totales	UFC/100 mL	Laboratorio	Filtración por Membrana
Plaguicidas Organoclorados	µg/L	Laboratorio	Cromatografía de Gases con Captura de Electrones (GC/ECD)
Plaguicidas Organofosforados	µg/L	Laboratorio	Cromatografía de Gases con Captura de Electrones (GC/ECD)
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)	µg/L	Laboratorio	Cromatografía de Gases



3.5 Uso de los Recursos Hídricos

La utilización del agua en la comunidad de Miquilse está destinada a uso doméstico, uso en agricultura y ganadería.

El crecimiento de la frontera agrícola representa una de los mayores desafíos del municipio de San Lucas en general, ya que no sólo el uso de agua el que se ve afectado por este tipo de actividad, sino que también se debe hacer hincapié en los plaguicidas que se le aplica a los cultivos, ya que estos afectan a la calidad del agua no sólo en la superficie sino que también a las aguas subterráneas.

Otra de las afectaciones directas al agua se da por la excesiva quema de los suelos, en otra de las malas prácticas agrícolas. Esto ocasiona un desgaste acelerado en los suelos, producto al calor que rompe la estructura de los nutrientes naturales, lo cual lo deja vulnerable a ser removido por las lluvias.

Aunque hay que destacar que los productores de la comunidad de Miquilse, no utilizan agroquímicos a gran escala ni queman suelos. Es por ello que dicha zona presenta el mayor rendimiento de cultivos con una producción aproximada de 40 quintales de maíz por manzana y 25 quintales de frijoles por manzana.

Por ello para conocer el posible uso de los recursos hídricos en la zona, se compararon los resultados de calidad de estas fuentes reportados por Palacios (2013) con la Normativa Técnica Obligatoria Nicaragüense para la Clasificación de los Recursos Hídricos (NTON 05 007 98) y de esta forma conocer si pueden ser utilizados para uso doméstico, industrial, agrícola, recreacional o navegación.

3.6 Cuantificación del Caudal

La cuantificación del caudal de diseño se realizó conociendo la población actual y la tasa de crecimiento con la cual se proyectará la población futura que hará uso del agua potable. Dicha información se buscó en el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE).

Según establece la NTON 09 003 39 para comunidades rurales se debe aplicar el método de porcentaje uniforme de crecimiento, que consiste en suponer que la proporción de crecimiento sigue una ley de interés compuesto.



3.7 Selección del Tratamiento

La selección del tratamiento para la potabilización de los recursos hídricos en la comunidad de Miquilse en San Lucas, se hizo tomando como referencia la calidad de las fuentes de captación de agua a potabilizar. Básicamente en esta comunidad hay dos tipos de captación: mediante pozos (Aguas Arribas, Aguas Abajo y Grifo Comunal) y manantiales (Afloramiento), por lo que la selección estuvo en dependencia del tipo de fuente y también de los aspectos socioeconómicos de los habitantes de la comunidad.

Primeramente lo que se hizo fue comparar todos los parámetros de calidad de agua de Miquilse con la NTON 05 007 98, esto con el fin de observar si los puntos de muestreos con los que se contaban, cumplían para ser un agua apta al consumo humano, antes de ser puesto a algún tratamiento.

Luego de que se realizó esto se procedió a la selección del tipo de tratamiento. Esto se hizo con base al Índice de Calidad de Agua (ICA). Los cuatros puntos se pusieron a pruebas de ICA, resultando el de Aguas Arriba como el idóneo para hacer el tratamiento, ya que este fue el que obtuvo la mayor puntuación. Además se demostró que cumple con el fin de bajos costos operacionales.

3.8 Propuesta de Tratamiento

La propuesta de tratamiento se realizó en Aguas Arribas, como antes se mencionó. Cada una de las fuentes hídricas a las que se les realizó el muestreo tienen la suficiente disponibilidad de agua para cumplir al menos con 10 veces el caudal estimado para un periodo de diseño de 15 años y que de acuerdo a los resultados de la clasificación de los recursos hídricos, estos puedan ser utilizados para consumo doméstico.

Para este tipo de comunidades usualmente se aplica un sistema de Filtros en Múltiples Etapas (FiME), que garantizan un agua de buena calidad apta para el consumo humano, y de bajo costo operativo. Adicionalmente a este tipo de tratamiento se debe realizar una desinfección con cloro, ya que esta garantiza que se elimine todo componente patógeno.



3.9 Eliminación de Contaminantes

El balance de contaminantes, se requiere hacer una sumatoria de los aniones y cationes que fueron determinados por Palacios (2013). Posteriormente con los porcentaje de remoción teóricos para cada unidad de tratamiento se estimaron las entradas y salidas de contaminantes una vez que el agua pasa por cada uno de las unidades de filtros, y por la cloración.

Con esto se puede observar que el predimensionamiento de la planta de potabilización de agua cumple con los requerimientos de remoción de contaminantes. Esto es un aspecto muy positivo.

3.10 Potabilidad del Agua

La determinación de la potabilidad del agua en la comunidad de Miquilse, se hizo básicamente mediante una comparación entre el agua tratada por FiME y cloración con las Normas CAPRE, descritas antes en el Marco Teórico. Esto nos demuestra que el agua es apta al consumo humano o no al consumo humano.

En este trabajo se demostró que el agua tratada si cumple con los parámetros que exige la norma CAPRE.

Es importante destacar que la comunidad es la que garantizará con el buen empleo y mantenimiento que el agua conserve su potabilidad por el período de tiempo que se estimó su funcionamiento.



4. Resultados

A continuación se presenta la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua en la comunidad de Miquilse. La caracterización del agua es con el fin de seleccionar un tipo de tratamiento adecuado para la comunidad, lo que incluye el dimensionamiento de las etapas de tratamientos, donde los resultados del muestreo se comparan tanto con la NTON 05 07 98, así como la norma CAPRE.

4.1 Caracterización Fisicoquímica y Microbiológica de Calidad del Agua

4.1.1 Parámetros Fisicoquímicos del Agua

Se realizó el análisis de seis parámetros para abarcar la caracterización física en los 4 puntos de muestro. Dichos parámetros se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Parámetros Físicos, Comunidad Miquilse.

Puntos de muestreo	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Conductividad (µS/cm)	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Color (mg/ L Pt-Co)	Turbiedad (NTU)
Afloramiento	26.00	1.45	114.30	56.00	30.00	5.40
Grifo Comunal	27.00	1.34	118.60	58.00	16.00	3.40
Aguas Arriba	31.00	2.19	187.00	92.00	31.00	5.50
Aguas Abajo	30.90	3.11	186.00	91.00	5.60	0.90

Temperatura (T)

La temperatura es un parámetro que se ve afectado principalmente con el horario a que se tomó la medición, así como la altura del sitio de muestreo, la flora del punto donde se muestrea y la época del año en que se realiza.

Según el registro de la toma de parámetros, y en particular la temperatura, se muestreo en el período de 7:00 am a las 5:00 pm. Todas estas mediciones



realizadas en un afloramiento, dos en pozos llamados Aguas Arribas y Aguas Abajo, por último se realizó un muestreo en el grifo comunal. El intervalo comprendido en dichas mediciones comprende desde los 26 °C en el afloramiento y de 31 °C en río aguas abajo.

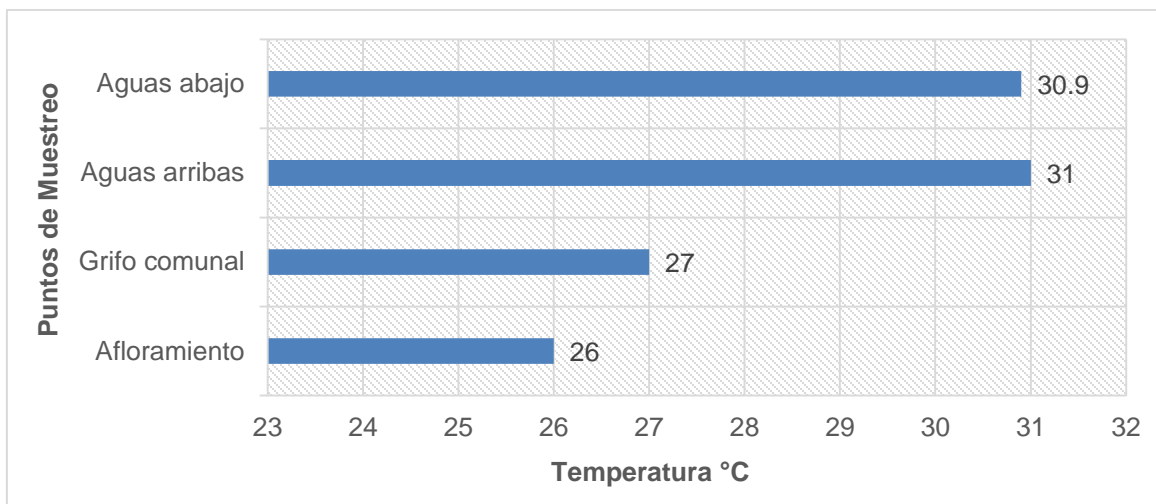


Figura 4.1 Valores de Temperatura.

Oxígeno Disuelto (OD)

Dicho parámetro es uno de los más importantes ya que sirve de indicador de cuan contaminado o no se encuentra el sitio a que se le hace el muestreo. Además tiene en cuenta si este sitio también es apto para dar soporte a la vida vegetal como animal. La temperatura y el oxígeno disuelto son dos parámetros estrechamente ligados, ya que si el agua está a baja temperatura habrá mayor cantidad de oxígeno disuelto.

Los resultados del muestreo del oxígeno disuelto están comprendidos desde 1.34 mg/L en el grifo municipal, hasta 3.11 mg/L en el pozo de Aguas Abajo. A pesar que el valor bajo de oxígeno disuelto le corresponde una temperatura de 27 °C, si esto lo comparamos con el agua del Afloramiento se puede notar que en 26 °C, la concentración de oxígeno disuelto es de 1.45 mg/L, mayor a la del Grifo Comunal.

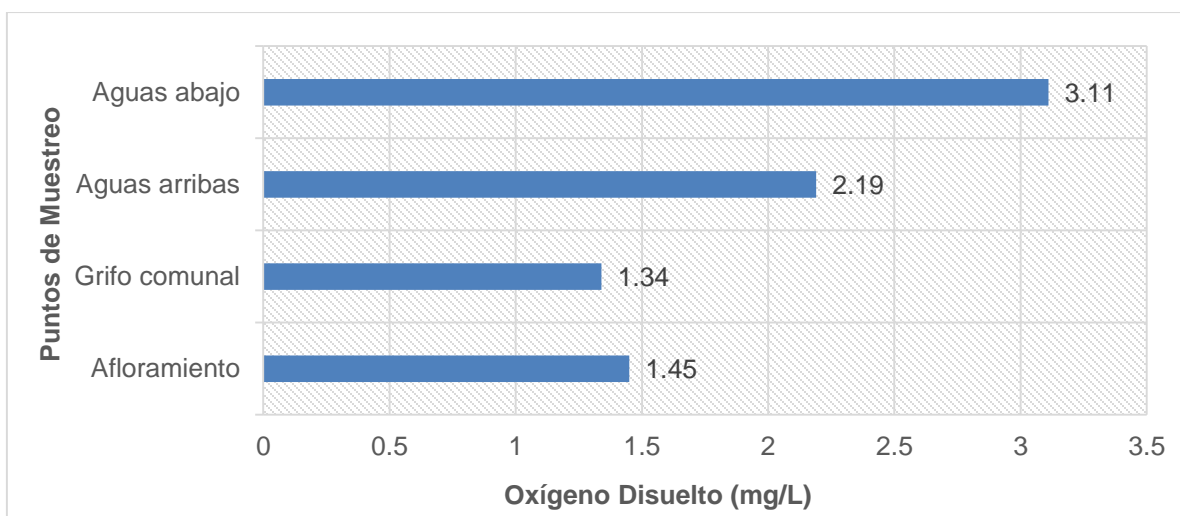


Figura 4.2 Valores de Concentración de Oxígeno Disuelto.

Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es una propiedad importante en el agua ya que brinda la capacidad del agua de ser conductora de electricidad. Esta propiedad es estrechamente ligada con los sólidos disueltos totales, además que es directamente afectada por la temperatura del agua, ya que a mayor grado se presente esta habrá una mayor conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica en Miquilse se encuentra comprendida entre 114.3 $\mu\text{S/cm}$ del Afloramiento hasta los 187 $\mu\text{S/cm}$ de las Aguas Arribas. En esta medición se cumple que a mayor temperatura habrá mayor (31 °C para Aguas Arribas) habrá mayor conductividad que en las aguas que se encuentra a menor temperatura (26 °C para el Afloramiento).

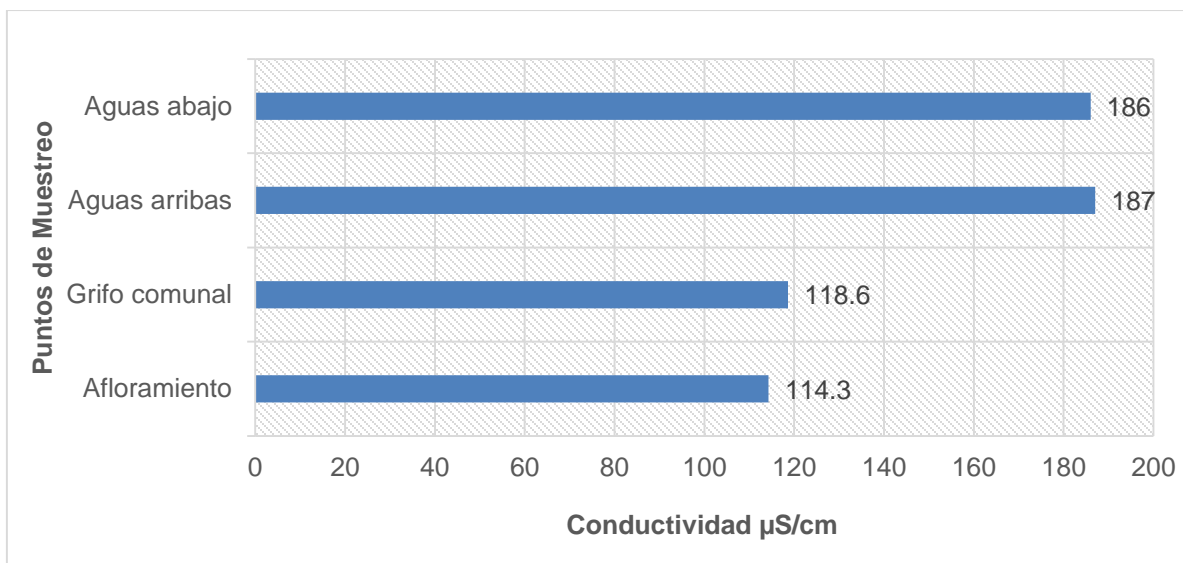


Figura 4.3 Valores de Conductividad Eléctrica.

Sólidos Totales Disueltos (STD)

La alta carga de los sólidos totales disueltos en el agua potable ocasionan tanto mal aspecto al agua así como un sabor no agradable. Esto también acarrea enfermedades a quien lo consume, por lo tanto es necesario el tratamiento de estos.

La medición de los sólidos totales disueltos se encuentra entre 56 mg/L en el afloramiento, mientras que la mayor medida se da en Aguas Arribas donde es igual a 92 mg/L.

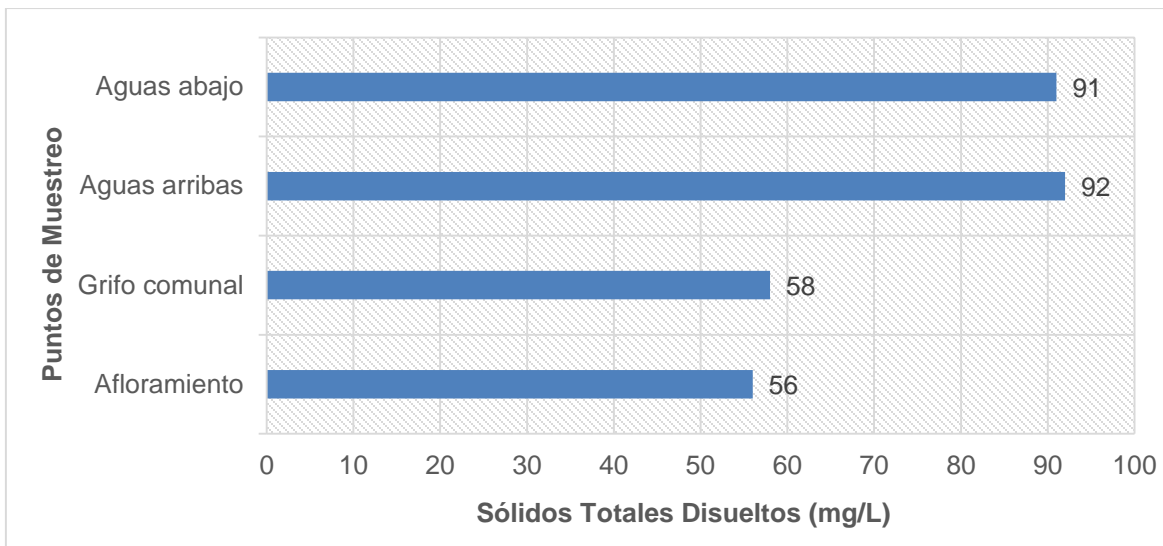


Figura 4.4 Valores de Sólidos Totales Disueltos.

Color Verdadero

El color verdadero indica la cantidad de sustancias disueltas, en estado coloidal o partículas suspendidas en el agua. Por ende, esto ocasiona muchas veces sabor desagradable en el agua. El color es una propiedad estrictamente ligada con la turbiedad, y por ello a mayor color existe mayor grado de unidades nefelométricas.

Hay que destacar que existe tanto color verdadero como aparente, pero en este caso se hizo análisis con el color verdadero, ya que con esto se garantiza mayor certeza en los datos que se brinda. El Afloramiento representa la mayor cantidad de color, el dato es igual a los 30 mg/L Pt-Co, lo cual es razonable por estar expuesto a carga orgánica, mientras que en el pozo de Aguas Abajo se dio el valor más bajo, dando como resultado 5.6 mg/L Pt-Co.

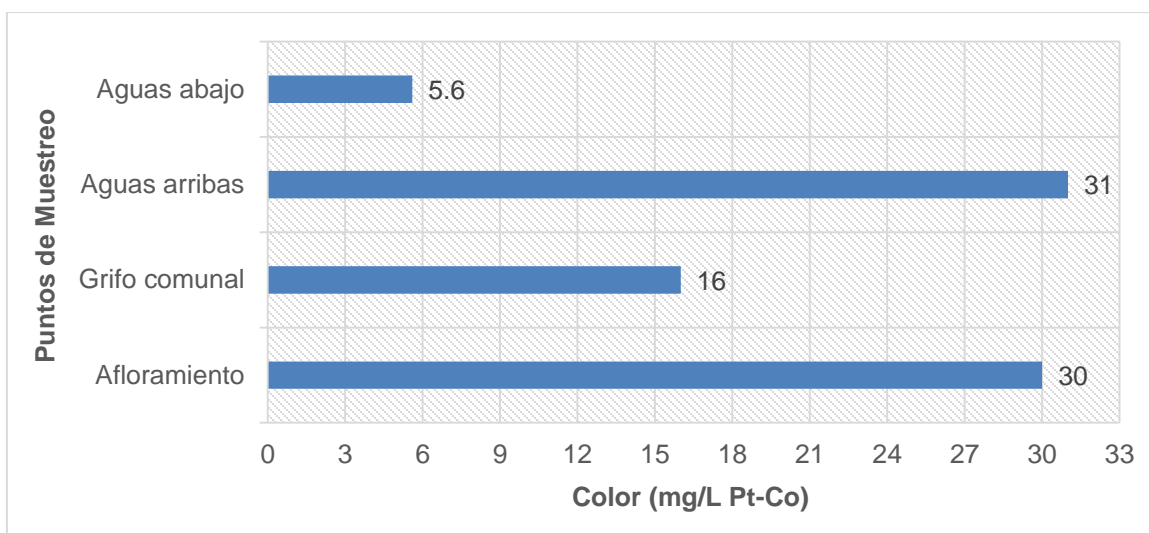


Figura 4.5 Valores de Color.

Turbiedad

La turbiedad es la propiedad que determina la dificultad que presentan los rayos de luz en penetrar un cuerpo de agua. Este parámetro resulta difícil si se intenta sólo remover mediante filtración, es por ello que se debe hacer énfasis en que se cumpla con la normativa CAPRE estipulada. Los datos de turbiedad están comprendidos entre 5.5 NTU, en Aguas Arribas y 0.90 NTU en Aguas Abajo.

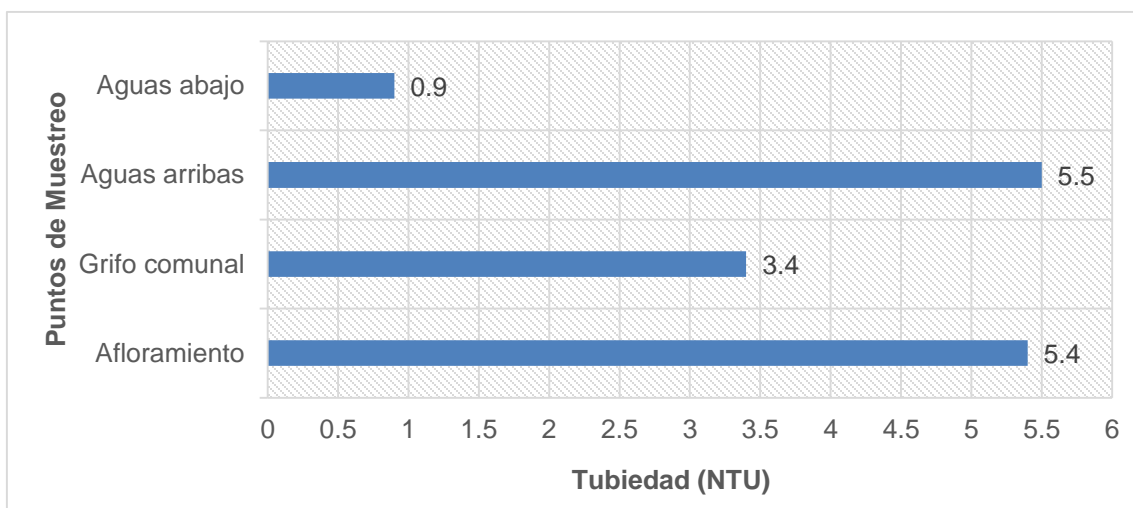


Figura 4.6 Valores de Turbiedad.



4.1.2 Parámetros Químicos del Agua

Se realizó el análisis de seis parámetros químicos para caracterizar el agua en ese aspecto. Los puntos de muestreo en la comunidad de Miquilse son cuatros.

Tabla 4.2 Parámetros Químicos, Comunidad Miquilse.

Puntos de Muestreo	pH	Dureza Total (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Fluoruros (mg/L)	Alcalinidad (mg/L de CaCO ₃)
Afloramiento	6.38	66.12	3.00	20.10	0.38	117.90
Grifo Comunal	6.50	110.20	0.00	21.10	0.38	149.34
Aguas Arriba	6.85	88.16	0.00	16.40	0.35	200.43
Aguas Abajo	6.54	75.41	0.00	19.80	0.61	160.32

pH

El pH es un parámetro estrechamente ligado al tipo de suelo donde se encuentre el agua. Muchos suelos que son de origen volcánico pueden afectar al agua con pH ligeramente ácido, aproximadamente el valor se maneja en 6. Mientras que en suelos donde hay más presencia de componentes calcáreos, el pH está por encima de los 7. Es relativamente neutro si los suelos tienen alto grado de silicatos o carbonatos.

Como se observa en la siguiente figura los valores de pH están por debajo de 7, específicamente se encuentra entre los 6.38 en el Afloramiento, hasta los 6.85 de pH en Aguas arribas.

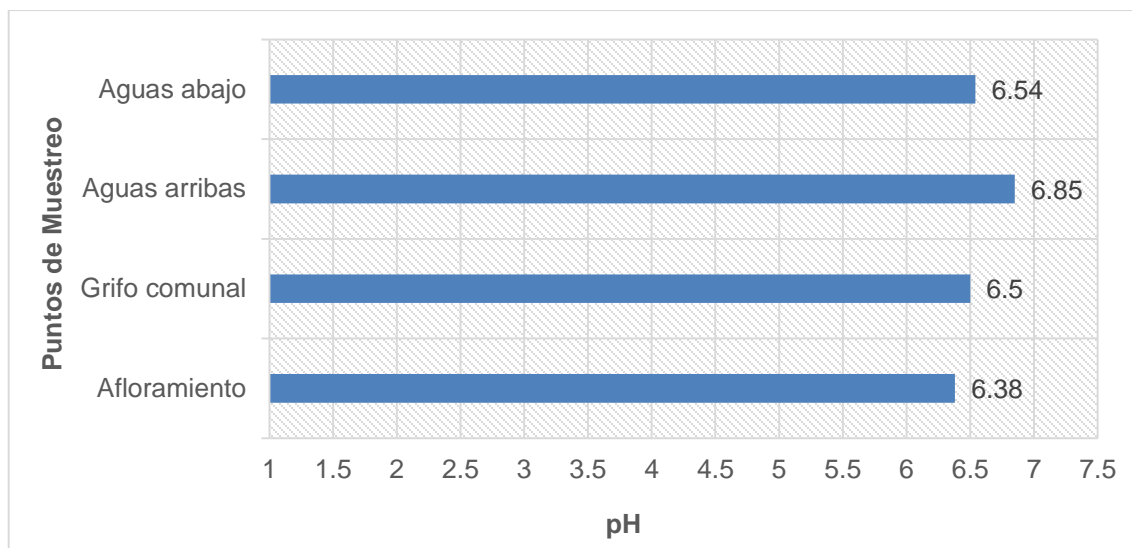


Figura 4.7 Valores de pH.

Dureza Total (mg/L)

La Dureza Total en el agua está definida por la cantidad de sales de calcio y magnesio en el agua. Estas se deben a la formación de rocas cuyo origen son calcáreas, afectando directamente al agua subterránea.

Si se tiene suelos de este tipo es muy probable tener aguas que tiendan a la alcalinidad. Este parámetro puede ser medido igualmente por el pH. Tanto alcalinidad como pH son dos parámetros que afectan directamente la Dureza Total.

En la siguiente figura se pueden observar los valores de la Dureza Total. Estos están comprendidos entre los 66.12 mg/ L del Afloramiento, y 110.2 mg/L del Grifo Comunal.

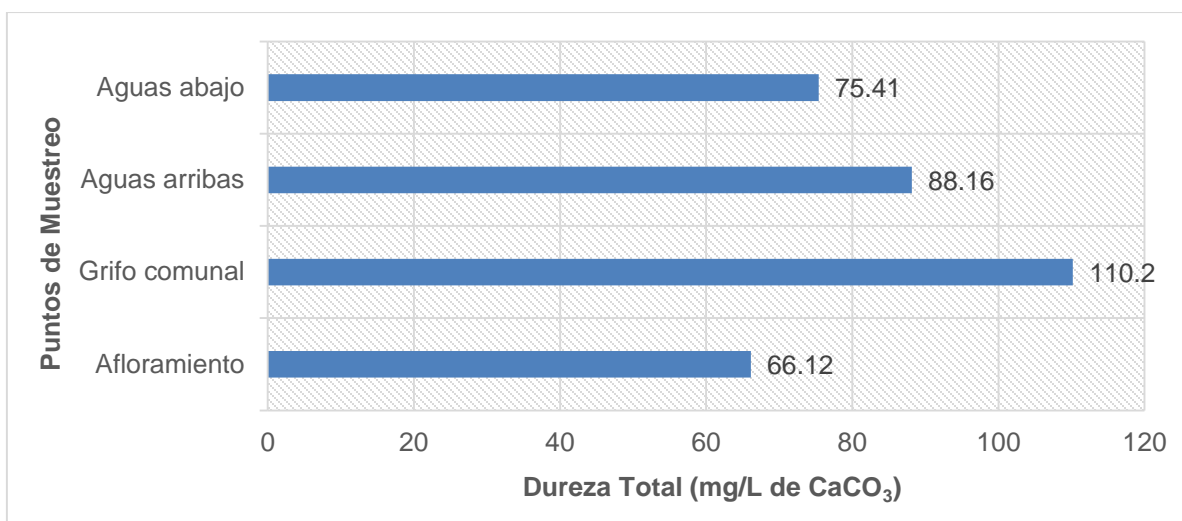


Figura 4.8 Valores Dureza Total.

Sulfatos (mg/L)

El sulfato es uno de los iones que más se encuentra en el agua en estado natural y constituye uno de los compuestos que viene disueltos en agua de lluvia. Mucho de estos iones en el agua se obtienen por las formaciones rocosas y suelos que tienen presencia de sulfatos. Uno de los problemas que se puede presentar con este ion, es que en combinaciones con Ca^{2+} y Mg^{2+} puede ocasionar efectos de laxantes en el sistema digestivo humano.

En la siguiente figura se pueden observar los valores de los sulfatos, que dicho sea de paso sólo el Afloramiento presenta sulfatos legible. Dicho valor fue de 3 mg/L.

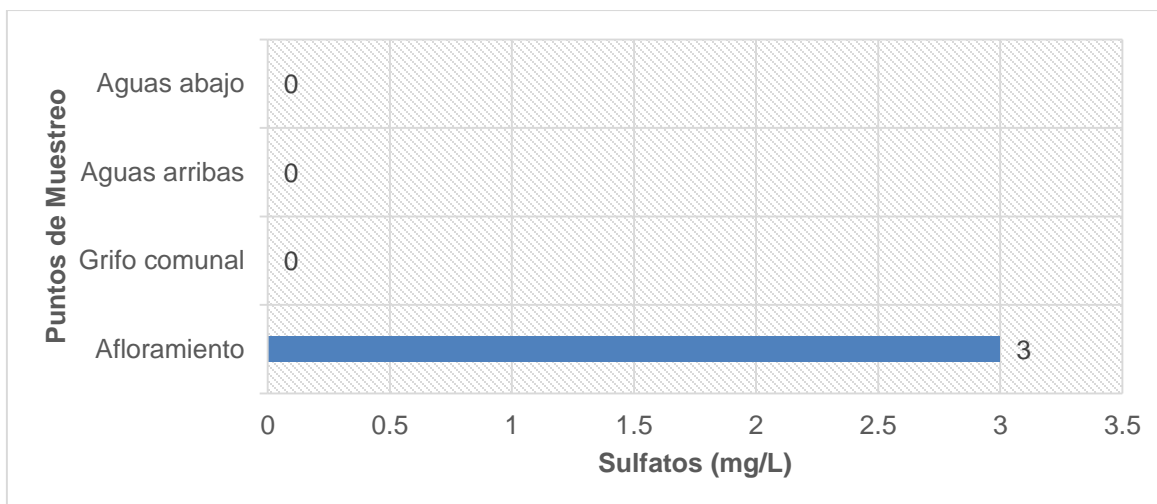


Figura 4.9 Valores de Sulfatos.

Cloruros (mg/L)

El ion cloruro es uno de los más abundantes en la naturaleza, ya que se encuentra en forma de sal (NaCl). En aguas subterráneas el contenido es muy variable, y puede ir desde 250 mg/L hasta por concentraciones de 1000 mg/L. Dicho ion es uno de los más importantes ya que favorece a la absorción de minerales de potasio, además que funciona como buffer ya que preserva el balance de ácido en la sangre.

En la siguiente figura se muestra los resultados de medición de los cloruros que van desde 19.8 mg/L en Aguas Abajo hasta los 21.1 mg/L del Grifo comunal. Dicho valores están bastante cercanos, lo cual indica que este ion está bastante estable en esta comunidad.

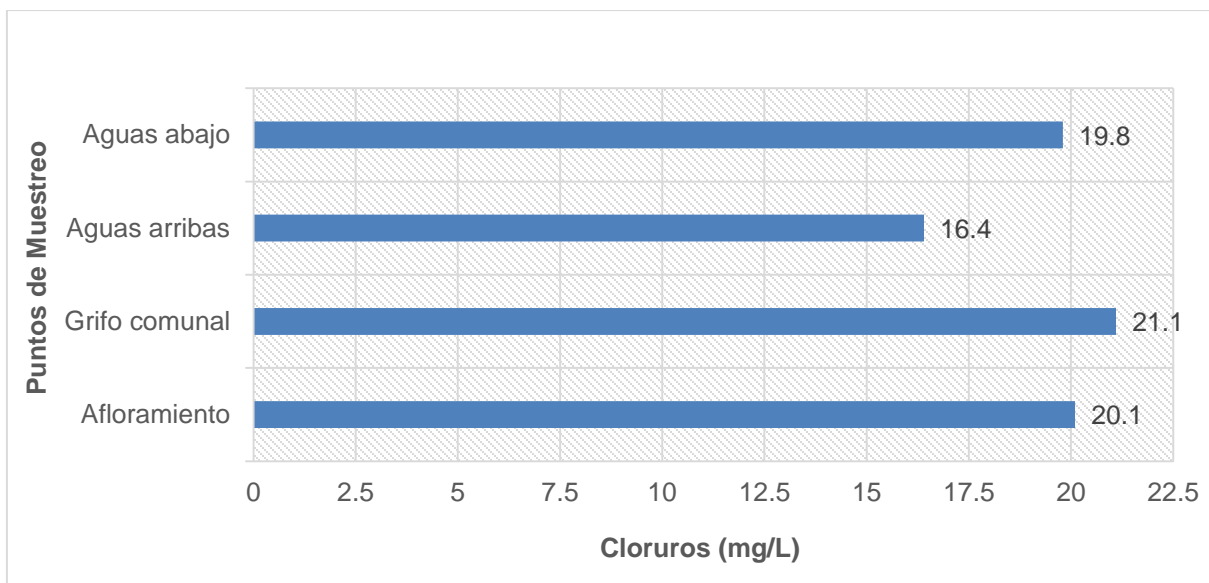


Figura 4.10 Valores de Cloruros.

Fluoruros (mg/L)

Las concentraciones del ion fluoruro dependen también de la roca por donde fluye el agua. Las concentraciones de dicho ion por lo general no exceden los 10 mg/L.

Los valores obtenidos en el muestreo están comprendido desde 0.35 mg/L de Aguas Arribas como valor mínimo, hasta 0.61 mg/L de Aguas Abajo.

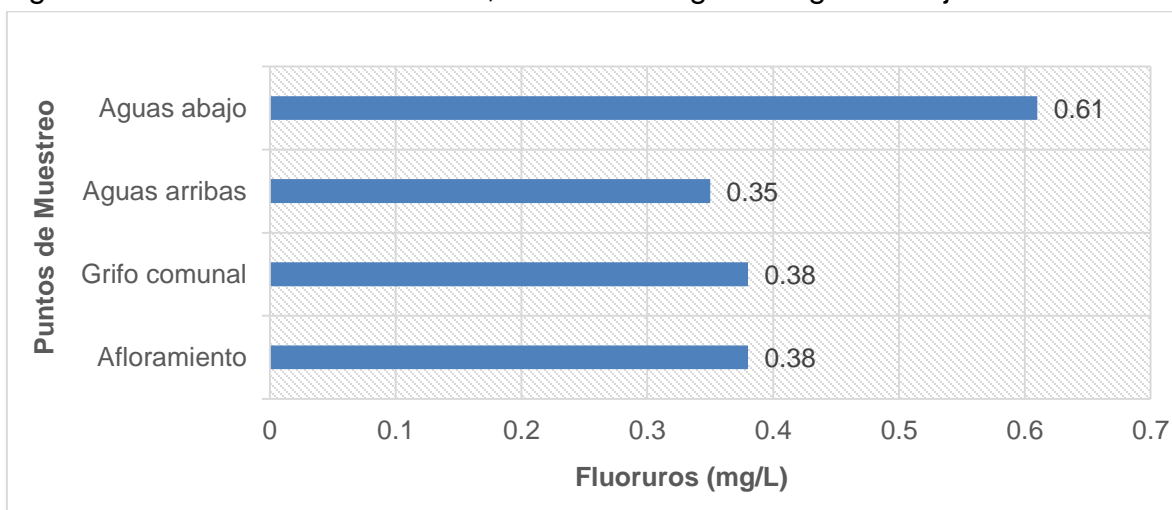


Figura 4.11 Valores de Fluoruros.



Alcalinidad (mg/L de CaCO_3)

La alcalinidad en el agua es la suma de los compuestos carbonatados, que hacen básica el agua. La alcalinidad está estrechamente ligada con la cantidad de iones de Calcio, Sodio, Potasio y Magnesio disueltos en como sales en agua. Mediante esta propiedad mucho de los microorganismos presentes en el agua pueden desarrollarse, también favorece a los procesos fotosintéticos de células en ecosistemas acuáticos.

Como se observa en la siguiente figura la alcalinidad más baja se encuentra en el Afloramiento con 117.9 mg/L de CaCO_3 , mientras que el parámetro más elevado está en Aguas Arribas con 200.43 CaCO_3 .

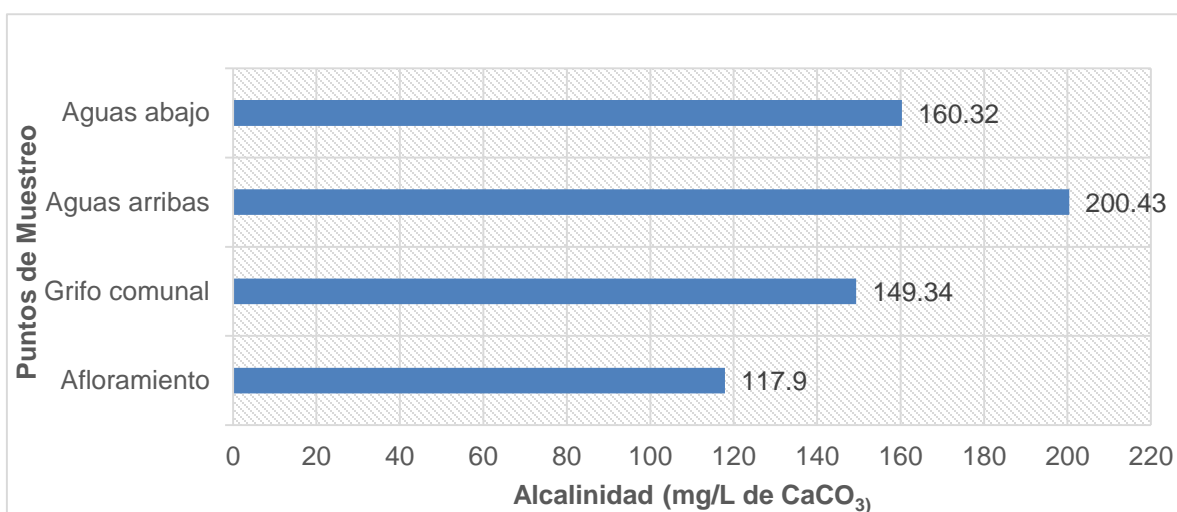


Figura 4.12 Valores de Alcalinidad.

Aluminio (mg/L)

Este ion es uno de los más abundantes en las aguas superficiales y aguas subterráneas. Tiene una característica única, en medios básicos o ácidos tiene un grado de solubilidad, mientras que en aguas neutras es un elemento casi insoluble. Uno de los problemas que ocasiona el ion Aluminio es que está muy asociado con problemas de Alzheimer en los seres humano.



Como se puede observar en la figura, los valores de los valores oscilan desde 0.007 mg/L en Aguas Abajo hasta los 0.01mg/L del Afloramiento.

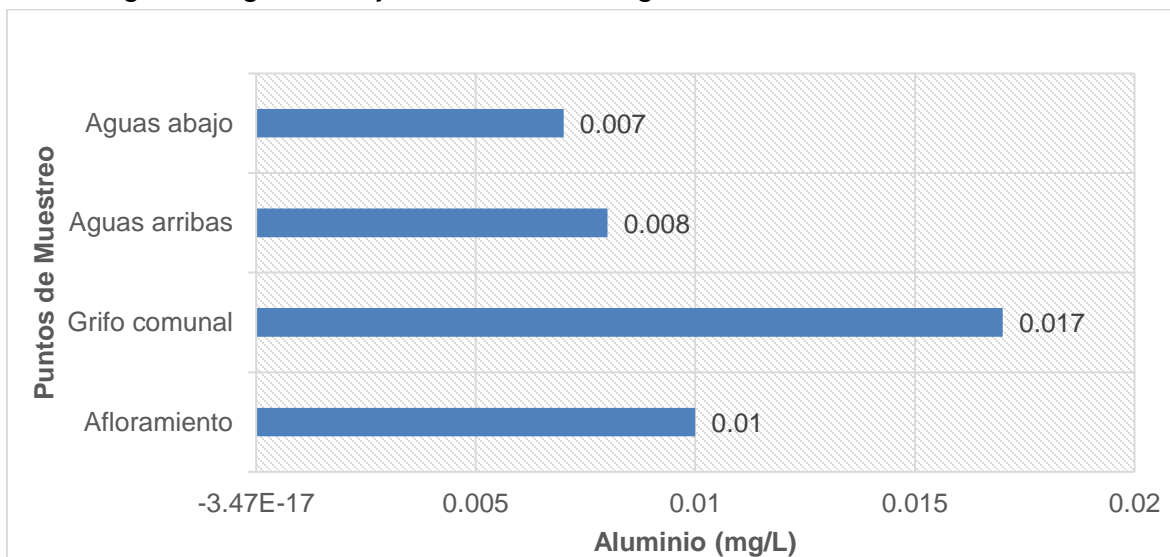


Figura 4.13 Valores de Aluminio.

Hierro (mg/L)

El Hierro es uno de los metales más abundantes en las aguas, sobre todo en las superficiales donde se encuentra en concentraciones más alta y es más común. En aguas subterráneas se encuentra mediante la filtración del mismo metal en el suelo. Este metal no representa gran riesgo en concentraciones bajas, pero si ocasiona agua con sabor, olor y olor no agradable.

En la siguiente figura se observa que los valores de Hierro están entre los 0.028 mg/L en Aguas Abajo, hasta los 0.08 del Grifo Comunal. Dicho valor es razonable, ya que el Hierro en las tuberías se acumula a lo largo del tiempo y esto ocasiona obstrucciones que las acarrea el agua.

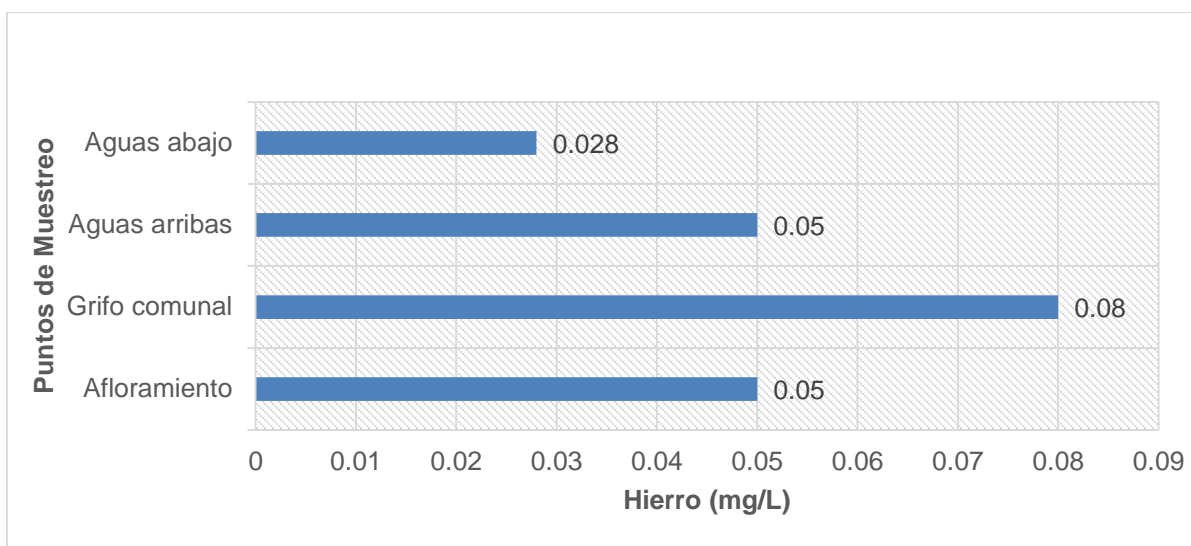


Figura 4.14 Valores de Hierro.

4.1.3 Parámetros Microbiológicos del Agua

Se realizó el análisis de dos parámetros microbiológicos para caracterizar el agua en ese aspecto. Los puntos de muestreo en la comunidad de Miquilse son cuatros. Lo resultados se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4.3 Parámetros Microbiológicos, Comunidad Miquilse.

Puntos de Muestreo	Coliformes Fecales (UFC/100 mL)	Coliformes Totales (UFC/100 mL)
Afloramiento	145	162
Grifo Comunal	0.00	0.00
Aguas Arriba	0.00	0.00
Aguas Abajo	0.00	0.00



Coliformes Fecales (UFC/100 mL)

Como se puede observar en esta figura el único valor que está por encima de lo recomendado es el Afloramiento con 145 UFC/100 mL.

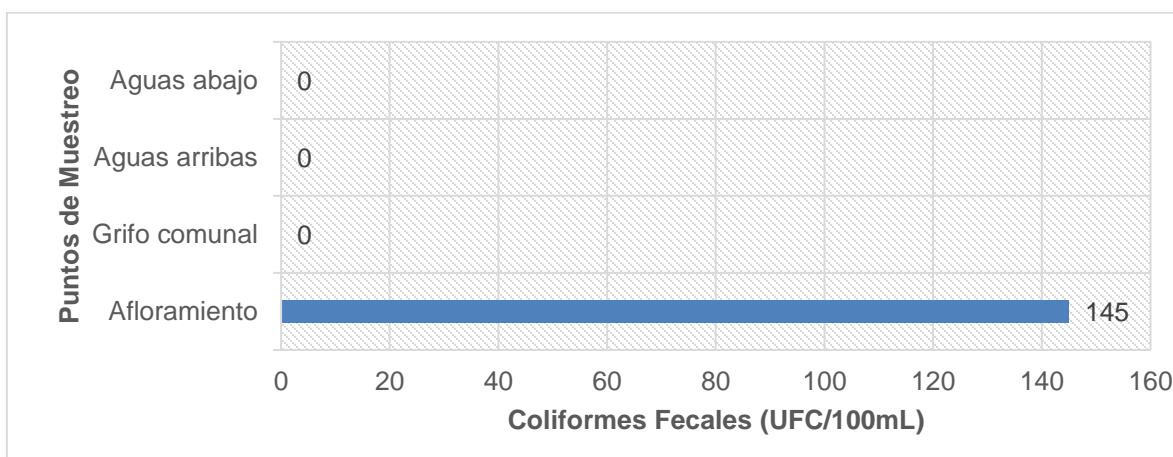


Figura 4.15 Valores de Coliformes Fecales.

Coliformes Totales (UFC/100 mL)

Como se puede observar en esta figura el único valor que está por encima de lo recomendado es el Afloramiento con 162 UFC/100 mL.

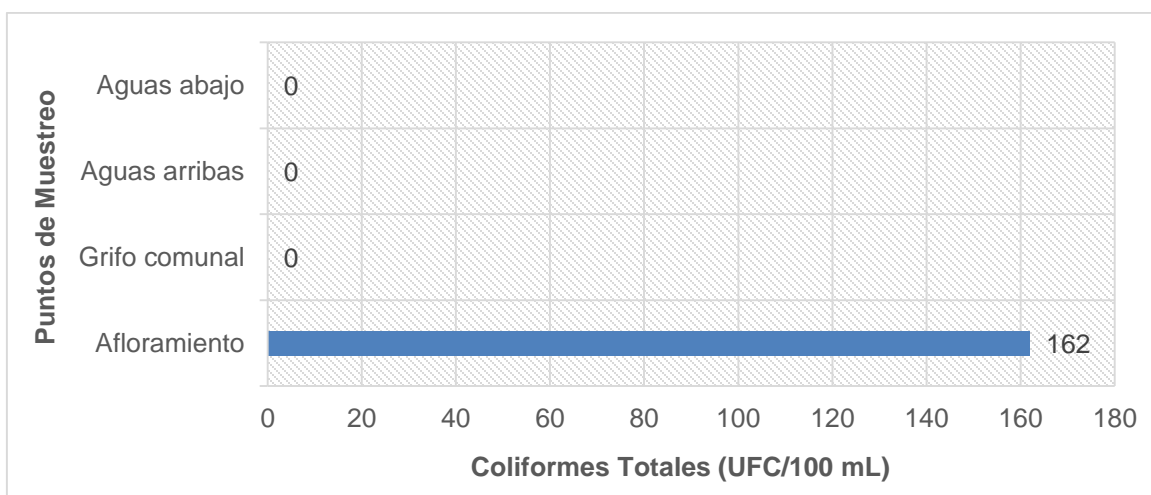


Figura 4.16 Valores de Coliformes Totales.



Tanto los Coliformes Fecales como los Totales son parámetros microbiológicos. Esta contaminación en las aguas se da por la acción de los seres vivos en el agua, principalmente de humanos y animales, ya que los agentes patógenos en el agua son producidos precisamente los residuos de estos: orina, sangre y heces, de aquí es que originan muchas enfermedades y pandemias como es el Cólera.

4.1.4 Parámetros Nitrogenados del Agua

Se realizó el análisis de tres parámetros Nitrogenados para caracterizar el agua en cada uno de sus aspectos. Los puntos de muestreo de la comunidad de Miquilse son cuatro. Los resultados se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4.4 Parámetros Nitrogenados, Comunidad Miquilse.

Puntos de Muestreo	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Amonio (mg/L)
Afloramiento	3.20	0.50	0.55
Grifo Comunal	3.40	0.70	0.00
Aguas Arriba	3.10	0.20	0.00
Aguas Abajo	3.00	0.09	0.00

Nitratos (mg/L)

La mayoría de los Nitratos en el agua indican la cantidad de fertilizantes que se usan en la zona. Estos pueden lixiviar por la humedad del suelo y penetrar hasta que alcancen el agua subterránea. En el caso del agua superficial mucha de la contaminación se da por las escorrentías de la lluvia que deparan hasta en algún río.

Como se puede notar en la siguiente figura se encuentra las mediciones de dicho parámetro. El valor más alto es de 3.4 mg/L del Grifo Municipal, y el más bajo es de 3 mg/L de aguas abajo.

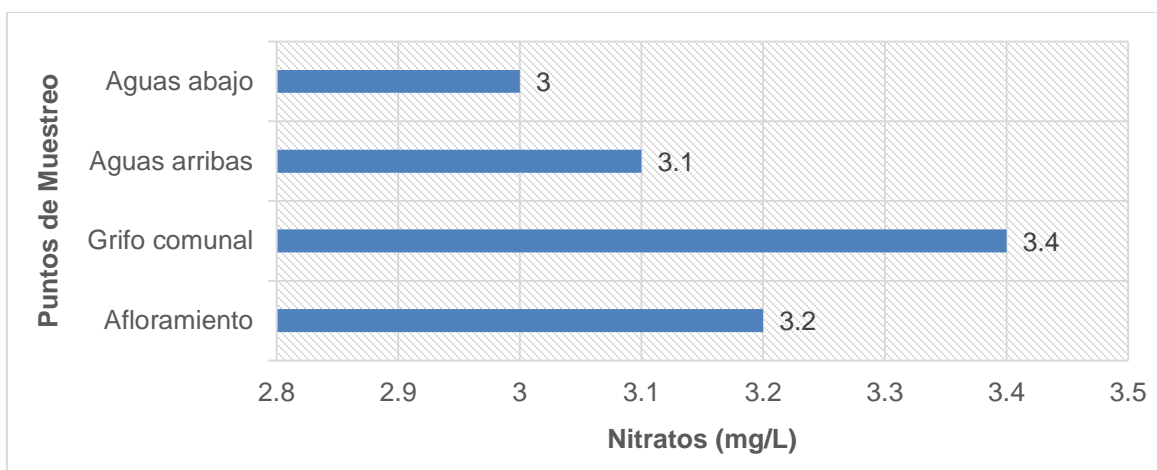


Figura 4.17 Valores de Nitratos.

Nitritos (mg/L)

Al igual que los Nitratos, los Nitritos también son una de las principales bases nitrogenadas que conforman los fertilizantes que alteran la calidad del agua potencialmente consumible al humano.

En la siguiente figura se puede observar los valores de Nitritos en el agua. El valor de Nitritos más alto se encuentra en el Grifo Municipal con 0.7 mg/L, y el más bajo valor que se midió se encuentra en Aguas Abajo con 0.09 mg/L. se nota que los valores que se obtuvieron están acordes tanto los Nitritos como Nitratos.

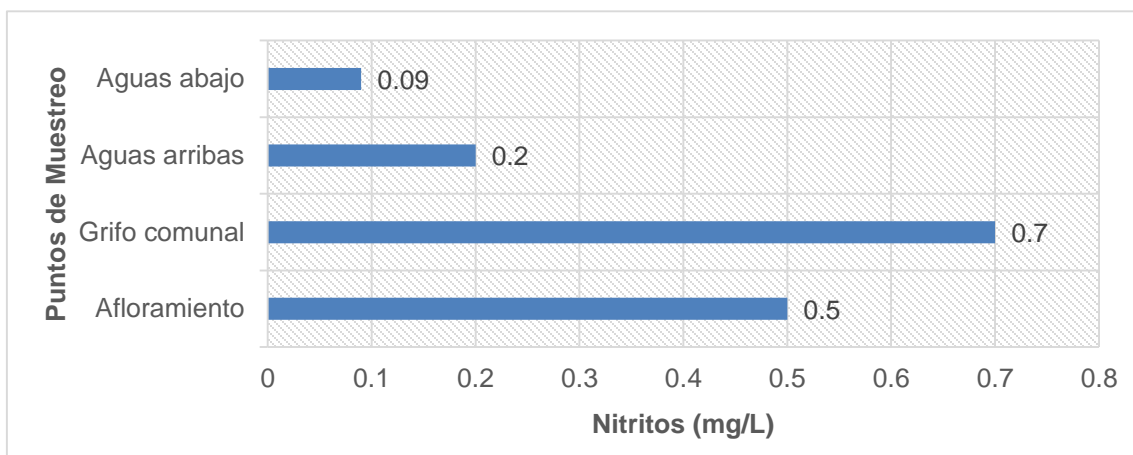


Figura 4.18 Valores de Nitritos.



Amonio (mg/L)

El Amonio es un componente que muchas veces está transitoriamente en el agua o el suelo, porque resulta del ciclo natural del Nitrógeno. Este se da por la descomposición de compuestos orgánicos nitrogenados. En el agua potable debe evitarse la presencia de amonio, ya que muchas veces como está en un medio aeróbico se genera nitritos.

En la siguiente Figura se observa los valores sólo en el Afloramiento se da una variación en el Amonio, dicho valor es de 0.55 mg/L.

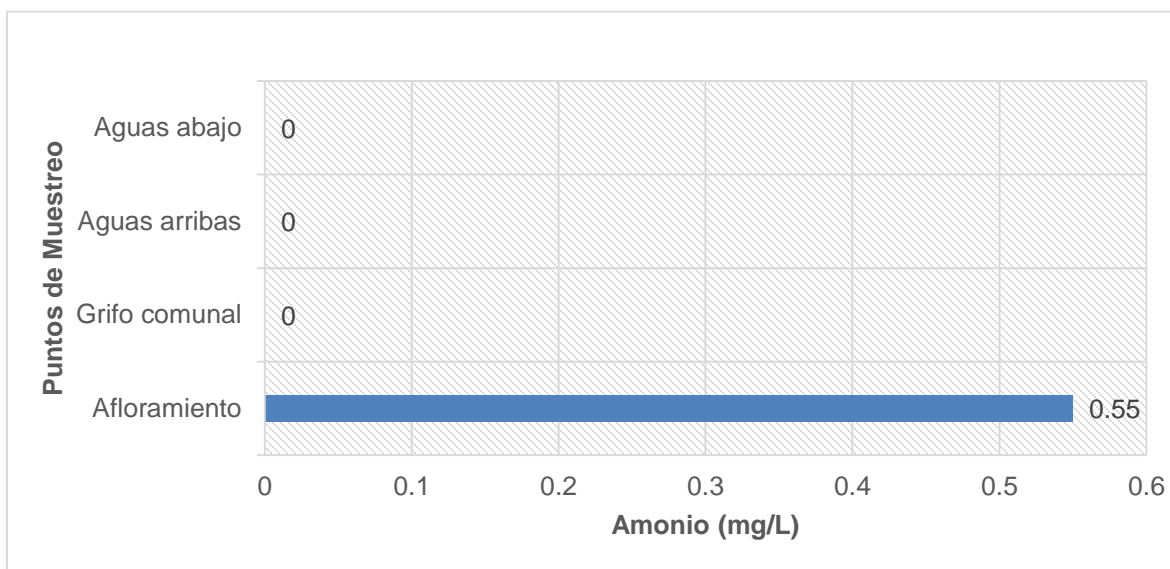


Figura 4.19 Valores de Amonio.



4.2 Comparación de Datos Obtenidos con la NTON 05 007 98

En la siguiente sección se compara los datos que se obtuvieron del muestro y lo estipulado por la NTON 05 007 98.

4.2.1 Parámetros Organolépticos

Tabla 4.5 Comparación NTON 05 007 98 Parámetros Organolépticos.

Punto de Muestreo	Parámetro	Unidad	Valores Medidos	*C 1A	*C 1B	*C 2A	*C 2B
Afloramiento	Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	30	< 15	< 150	-	-
	Turbiedad	NTU	5.4	< 5	< 250	-	-
Grifo Comunal	Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	16	< 15	< 150	-	-
	Turbiedad	NTU	3.4	< 5	< 250	-	-
Aguas Arribas	Turbiedad	NTU	31	< 5	< 250	-	-
	Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	5.5	< 15	< 150	-	-
Aguas Abajo	Turbiedad	NTU	5.6	< 5	< 250	-	-
	Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	0.9	< 15	< 150	-	-

* El significado de C es clasificación, y el número junto a la vocal indica el tipo de agua y su subclasificación según NTON 05 007 98

En la tabla de arriba se muestra los parámetros Organolépticos del agua. Los valores que están por encima de la NTON 05 007 98 son Color Verdadero y Turbiedad en el Afloramiento, así como también el Color tanto en el Grifo Municipal como en el pozo de Aguas Abajo.

Uno de los parámetros más comúnmente fuera de la Norma es el Color. Este parámetro aunque muchas veces puede presentarse con cierta variación fuera de lo común en su estado natural, muchas veces la carga de los sólidos que provocan el agua con exceso de Color es parte primordial en la contaminación del agua.



En el caso de la Turbiedad, esta indica la falta de transparencia en el agua debido a sólidos en suspensión. Es decir que entre más sólidos disueltos haya en el agua, más turbia (y sucia) se verá el agua. Este parámetro es un indicativo de cuan contaminada o no, está un agua.

4.2.2 Parámetros Fisicoquímicos

Tabla 4.6 Comparación NTON 05 007 98 Parámetros Fisicoquímicos.

Punto de Muestreo	Parámetro	Unidad	Valores Medidos	*C 1A	*C 1B	*C 2A	*C 2B
Afloramiento	Temperatura	°C	26	-	-	-	-
	pH		6.38	6 - 8.5	6 - 8.5	-	-
	Oxígeno Disuelto	mg/L	1.45	> 4	> 4	-	-
	Cloro Residual	mg/L	-	-	-	-	-
	Cloruros	mg/L	20.1	250	600		
	Conductividad	µs/cm	114.3	-	-	-	-
	Dureza	mg/L CaCO ₃	66.12	400	400	-	-
	Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	117.9	-	-	-	-
	Sulfatos	mg/L	3	250	400		
	Aluminio	mg/L	0.01	-	-	1	1
	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	56	-	-	3000	3000
Grifo Comunal	Temperatura	°C	27				
	pH		6.5	6 - 8.5	6 - 8.5	-	-
	Oxígeno Disuelto	mg/L	1.34	> 4	> 4	-	-
	Cloro Residual	mg/L	-	-	-	-	-
	Cloruros	mg/L	21.1	250	600		
	Conductividad	µs/cm	118.6	-	-	-	-
	Dureza	mg/L CaCO ₃	110.2	400	400	-	-
	Alcalinidad	mg/L	149.34	-	-	-	-



DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MIQUILSE, MUNICIPIO DE SAN LUCAS, MADRIZ

Punto de Muestreo	Parámetro	Unidad	Valores Medidos	*C 1A	*C 1B	*C 2A	*C 2B
		CaCO ₃					
	Sulfatos	mg/L	n.d	250	400	-	-
	Aluminio	mg/L	0.017	-	-	1	1
	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	58	-	-	3000	3000
Aguas Arribas	Temperatura	°C	31.4	-	-	-	-
	pH		6.85	6 - 8.5	6 - 8.5	-	-
	Oxígeno Disuelto	mg/L	2.19	> 4	> 4	-	-
	Cloro Residual	mg/L	-	-	-	-	-
	Cloruros	mg/L	16.4	250	600	-	-
	Conductividad	µs/cm	187	-	-	-	-
	Dureza	mg/L CaCO ₃	88.16	400	400	-	-
	Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	200.43	-	-	-	-
	Sulfatos	mg/L	n.d	250	400	-	-
	Aluminio	mg/L	0.008	-	-	1	1
	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	92	-	-	3000	3000
Aguas Abajo	Temperatura	°C	30.9				
	pH		6.54	6 - 8.5	6 - 8.5	-	-
	Oxígeno Disuelto	mg/L	3.11	> 4	> 4	-	-
	Cloro Residual	mg/L	-	-	-	-	-
	Cloruros	mg/L	19.8	250	600	-	-
	Conductividad	µs/cm	186	-	-	-	-
	Dureza	mg/L CaCO ₃	75.41	400	400	-	-
	Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	160.32	-	-	-	-
	Sulfatos	mg/L	n.d	250	400	-	-
	Aluminio	mg/L	0.007	-	-	1	1



DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MIQUILSE, MUNICIPIO DE SAN LUCAS, MADRIZ

Punto de Muestreo	Parámetro	Unidad	Valores Medidos	*C 1A	*C 1B	*C 2A	*C 2B
	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	91	-	-	3000	3000

**El significado de C es clasificación, y el número junto a la vocal indica el tipo de agua y su subclasificación según NTON 05 007 98*

Como se puede observar los puntos sombreados de amarillos son los parámetros que están por encima de lo estipulado en la NTON 05 007 98. En esta tabla se observa que sólo el Oxígeno Disuelto está por debajo de lo que requiere la Normativa.

Las causas de que el Oxígeno Disuelto este por debajo de lo requerido se puede deber a muchos factores. Uno de ellos puede ser la sobre fertilización de los suelos, ya que la mayoría de los fertilizantes consumen la humedad de los suelos.

4.2.3 Parámetros de Sustancias no Deseadas

Tabla 4.7 Comparación NTON 05 007 98 Parámetros de Sustancias no Deseadas.

Punto de Muestreo	Parámetro	Unidad	Valores Medidos	*C 1A	*C 1B	*C 2A	*C 2B
Afloramiento	Nitratos	mg/L	3.2	10	10	-	-
	Nitritos	mg/L	0.5			-	-
	Amonio	mg/L	0.55	-	-	-	-
	Hierro	mg/L	0.05	0.3	3	1	1
	Manganeso	mg/L	< 0.02	0.5	0.5	0.5	0.5
	Fluoruro	mg/L	0.38	0.7 - 1.5	< 1.7	-	-
Grifo Comunal	Nitratos	mg/L	3.4	10	10	-	-
	Nitritos	mg/L	0.7			-	-
	Amonio	mg/L	n.d	-	-	-	-
	Hierro	mg/L	0.08	0.3	3	1	1
	Manganeso	mg/L	< 0.02	0.5	0.5	0.5	0.5
	Fluoruro	mg/L	0.38	0.7 - 1.5	< 1.7	-	-
Aguas Arribas	Nitratos	mg/L	3.1	10	10	-	-
	Nitritos	mg/L	0.2			-	-
	Amonio	mg/L	n.d	-	-	-	-



DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MIQUILSE, MUNICIPIO DE SAN LUCAS, MADRIZ

	Hierro	mg/L	0.05	0.3	3	1	1
	Manganeso	mg/L	< 0.02	0.5	0.5	0.5	0.5
	Fluoruro	mg/L	0.35	0.7 - 1.5	< 1.7	-	-
Aguas Abajo	Nitratos	mg/L	3	10	10	-	-
	Nitritos	mg/L	0.09			-	-
	Amonio	mg/L	n.d	-	-	-	-
	Hierro	mg/L	0.028	0.3	3	1	1
	Manganeso	mg/L	< 0.02	0.5	0.5	0.5	0.5
	Fluoruro	mg/L	0.61	0.7 - 1.5	< 1.7	-	-

**El significado de C es clasificación, y el número junto a la vocal indica el tipo de agua y su subclasificación según NTON 05 007 98*

Como se observa en los datos esta tabla, no hay valores por encima de la NTON 05 007 98.

4.2.4 Parámetros para Sustancias Inorgánicas

Tabla 4.8 Comparación NTON 05 007 98 Parámetros para Sustancias Inorgánicas.

Punto de Muestreo	Parámetro	Unidad	Valores Medidos	*C 1A	*C 1B	*C 2A	*C 2B
Afloramiento	Arsénico	µg/L	< 0.5	-	-	0.05	0.05
	Plomo	µg/L	< 0.01	0.01	0.05	0.05	0.05
Grifo Comunal	Arsénico	µg/L	< 0.5	-	-	0.05	0.05
	Plomo	µg/L	< 0.01	0.01	0.05	0.05	0.05
Aguas Arribas	Arsénico	µg/L	< 0.5	-	-	0.05	0.05
	Plomo	µg/L	< 0.01	0.01	0.05	0.05	0.05
Aguas Abajo	Arsénico	µg/L	< 0.5	-	-	0.05	0.05
	Plomo	µg/L	< 0.01	0.01	0.05	0.05	0.05

**El significado de C es clasificación, y el número junto a la vocal indica el tipo de agua y su subclasificación según NTON 05 007 98*

Como se observa esta tabla, no hay ningún valor fuera de lo que está estipulado en la NTON 05 007 98.



4.2.5 Parámetros Bacteriológicos

Tabla 4.9 Comparación NTON 05 007 98 Parámetros Bacteriológicos.

Punto de Muestreo	Parámetro	Unidad	Valores Medidos	*C 1A	*C 1B	*C 2A	*C 2B
Afloramiento	Coliformes Fecales	UFC/100 mL	145	Promedio Mensual Menor a 2000 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 10000 NMP/100mL	Promedio Mensual Menor a 100 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 1000 NMP/100 mL
	Coliformes Totales	UFC/100 mL	162	Promedio Mensual Menor a 2000 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 10000 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 1000 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 5000 NMP/100 mL
Grifo Comunal	Coliformes Fecales	UFC/100 mL	Negativo	Promedio Mensual Menor a 2000 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 10000 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 100 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 1000 NMP/100 mL
	Coliformes Totales	UFC/100 mL	Negativo	Promedio Mensual Menor a 2000 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 10000 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 1000 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 5000 NMP/100 mL
Aguas Arribas	Coliformes Fecales	UFC/100 mL	Negativo	Promedio Mensual Menor a 2000 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 10000 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 100 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 1000 NMP/100 mL
	Coliformes Totales	UFC/100 mL	Negativo	Promedio Mensual Menor a 2000 NMP/100mL	Promedio Mensual Menor a 10000 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 1000 NMP/100mL	Promedio Mensual Menor a 5000 NMP/100 mL
Aguas Abajo	Coliformes Fecales	UFC/100 mL	Negativo	Promedio Mensual Menor a 2000 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 10000 NMP/100mL	Promedio Mensual Menor a 100 NMP/100mL	Promedio Mensual Menor a 1000 NMP/100mL
	Coliformes Totales	UFC/100 mL	Negativo	Promedio Mensual Menor a 2000 NMP/100 mL	Promedio Mensual Menor a 10000 NMP/100mL	Promedio Mensual Menor a 1000 NMP/100mL	Promedio Mensual Menor a 5000 NMP/100mL

*El significado de C es clasificación, y el número junto a la vocal indica el tipo de agua y su subclasificación según NTON 05 007 98



Los Parámetros Bacteriológicos son de los que más cuidado se debe tener al momento de tratar el agua para que sea potable. En la tabla de arriba, se presentan los datos del Afloramiento donde se da una variación con respecto a la NTON 05 007 98.

Dicha variación puede ser debida a presencia de microorganismos en la tierra, ya que en el Afloramiento por ser agua superficial tiende a poseer más carga microbiológica, principalmente de los Coliformes Fecales que pueden ser de origen animal o humano.

4.3 Selección de Tratamiento

4.3.1 Medición ICA

Para la selección de tratamiento lo que se hace en primera instancia es realizar los Índices de Calidad de Agua (ICA) para cada uno de los puntos de muestreo, mediante la siguiente ecuación:

$$ICA = \left(\frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right) \quad (4.1)$$

Realizando cada uno de los cálculos para cada uno de los puntos dieron los siguientes resultados:

Tabla 4.10 Valores del ICA.

ICA Miquilse	
Punto de Muestreo	ICA
Afloramiento	56.28
Grifo Comunal	60.49
Aguas Arriba	63.47
Aguas Abajo	63.20

Lo que se observa en la tabla anterior son los ICA. Una vez que estos se obtienen los ICA de cada punto de muestreo, se elige el que tenga mayor puntuación mediante la siguiente tabla:



Tabla 4.11 Comparación de ICA con respecto al uso.

ICA	Criterio General	Abastecimiento Público	Recreación	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola			
100	No contaminado	No requiere purificación	Aceptable	Aceptable	No requiere purificación			
95					Ligera purificación para procesos			
90		Ligera purificación para procesos						
85								
80	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento						
75		Sin tratamiento para la industria normal						
70								
65								
60	Poco contaminado		Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable excepto para especies sensibles	Sin tratamiento para la industria normal			
55				Dudoso para especies sensibles				
50		Contaminado		Dudoso	Dudoso para el contacto directo	Solo organismos resistentes	tratamiento en la mayor parte de la industria	
45	Dudoso							
40	Sin contacto con el agua							
35				No Aceptable				
30	Altamente Contaminado		Señal de Contaminación		Uso restringido			
25								
20			No Aceptable	No Aceptable	No Aceptable			
15								
10								
5								
0								

Fuente: Organización Mundial de la Salud; 2005.

Como el punto que tiene el ICA más alto es Aguas Arribas (63.47), entonces se selecciona este punto para hacer el tratamiento de agua. Dicha agua servirá para abastecer a toda la comunidad de Miquilse, es por eso que se hace necesario un tratamiento. En la sección de “Abastecimiento Público” este punto se encuentra en la zona amarilla.

4.3.2 Selección del Tratamiento

La selección del tratamiento debe basarse no solo en lo técnico, sino que debe considerarse los futuros mantenimientos y costos tanto en corto como largo plazo.

Una de las opciones que favorece a estas condiciones es el de FiME (Filtración en múltiples etapas). La selección de este tratamiento se realiza en base a un modelo análogo de tratamiento que es utilizado con mayor frecuencia en otras



comunidades con condiciones y parámetros de agua similares, para la selección de tratamiento por FiME se compara con la siguiente tabla¹ (Tabla 4.12):

Tabla 4.12 Selección de Tratamiento por FiME

Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	Turbiedad (UNT)	< 10	10-20	20-50	50-70 (*)
	Color Real (UC)	< 20	20-30	30-40	30-40 (*)
< 500		Sin FGA	FGAC _{0.6}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3.0.3}
500 - 10000		FGAC _{0.6}	FGAC _{0.6}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3.0.3}
10000 - 20000 (*)		FGAC _{0.45}	FGAC _{0.45}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3.0.3}

Fuente: Organización Panamericana de la Salud; 2005

Como el tratamiento se efectuará en Aguas Arribas, los valores que interesan son: Color, Turbiedad y Coliformes Fecales.

Tabla 4.13 Valores de la Selección ICA.

Parámetros	Valores
Color (mg/L Pt-Co)	31
Turbiedad (NTU)	5.5
Coliformes Fecales (UFC/100 mL)	Negativo

¹ Rango según la Calidad

	Bajo
	Medio
	Alto

FGDi: Filtro Grueso Dinámico

FGAC: Filtro Grueso Ascendente en Capas

FGAS3: Filtro Grueso Ascendente en Serie (3 etapas)

FGH3: Filtro Grueso Horizontal (3 etapas)

FLA: Filtro Lento Arena



Con estos valores se selecciona el arreglo adecuado para este tipo de condiciones. Como se puede observar en Aguas Arribas; este consiste en un Filtro Grueso Ascendente y Filtro Grueso Ascendente en Capas (Se elige **FGAC0.6**), porque presenta más confiabilidad al momento de ser usado.



A continuación se demuestra mediante un diagrama el algoritmo para la selección del tratamiento de agua en la comunidad Miquilse:

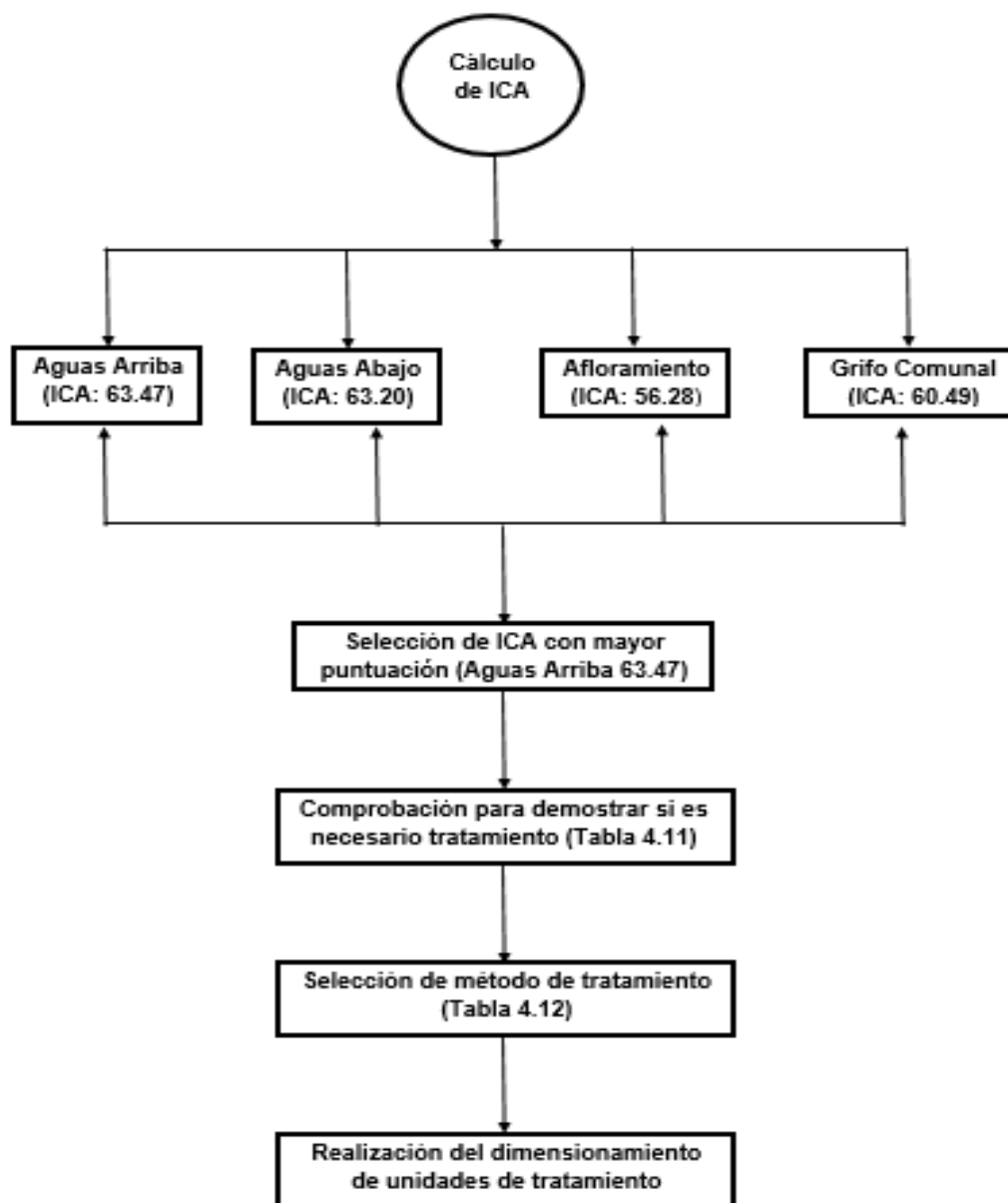


Figura 4.20 Diagrama de selección de tratamiento por ICA



4.4 Dimensionamiento de las Unidades de Tratamiento

Como se seleccionó el tratamiento por FIME, entonces lo que se hace posterior a su elección es el dimensionamiento de las Unidades de Tratamiento. A continuación se detallan mediante las siguientes tablas a cada uno de los filtros a usarse en dicho tratamiento.

Filtro Grueso Dinámico (FGDi):

Dicho filtro es el primero que se ubica cuando se inicia a potabilizar el agua, a continuación se especifica cada una de sus dimensiones:

Tabla 4.14 Valores de Dimensionamiento FGDi.

Filtro Grueso Dinámico (FGDi)		
Parámetros	Valores	Unidades de medida
Número de Filtros (N)	2.0	-
Área Total de Filtro (At)	0.75	m ²
Caudal Total para población	1.5	(m ³ /h)
Tasa de Filtración	2.0	(m/h)
Área del Filtro de cada Unidad (A _T)	0.9	m ²
Caudal Total Recalculado (Q _{TR})	1.8	(m ³ /h)
Razón de Flujo	0.2	
<i>Caja de Filtro</i>		
Longitud (L)	1.0	m
Ancho (b)	0.5	m
Altura (Hf)	1.1	m
Especificaciones del Material Filtrante		
<i>Posición en la unidad</i>	<i>Espesor de la capa (m)</i>	<i>Tamaño de Grava (mm)</i>
Superior	0.2	3
Intermedio	0.2	6
Inferior	0.2	13
Total	0.6	



<i>Especificaciones para el Lecho de Soporte</i>			
<i>Capa</i>	<i>Tipo</i>	<i>Diámetro de partícula (mm)</i>	<i>Espesor de la capa (mm)</i>
Superior	Arena gruesa	1	50
Segunda	Grava fina	2	50
Tercera	Grava	5	50
Inferior	Grava gruesa	10	150
Total			300

Filtro Grueso Ascendente en Capas (FGAC):

Este es el segundo filtro a ser ubicado en el tren de tratamiento para potabilizar el agua, a continuación las especificaciones:

Tabla 4.15 Valores de Dimensionamiento FGAC.

Filtro Grueso Ascendente en Capas (FGAC)		
<i>Parámetros</i>	<i>Valores</i>	<i>Unidades de medida</i>
Área Superficial (As)	5.0	m ²
Numero de Filtros (N)	2.0	-
Caudal de Total (Q _T)	1.5	m ³ /h
Velocidad de Filtración (Vf)	0.3	m/h

Tabla 4.16 Especificaciones de Lecho Filtrante.

Especificaciones para el Lecho Filtrante			
<i>Capa</i>	<i>Tipo</i>	<i>Diámetro de partícula (mm)</i>	<i>Espesor de la capa (m)</i>
Superior	Grava Gruesa	13	0.20
Segunda	Grava	6	0.15
Tercera	Grava Fina	3	0.15
Inferior	Arena Gruesa	1.6	0.10
<i>Especificaciones para Lecho de Soporte</i>			
Única capa	-	19	0.30

Fuente: Organización Panamericana de la Salud



Filtro Lento de Arena (FLA):

Es el último de los filtros, el cual es el garante de que el agua quede con la mayor cantidad de pureza para que sea posible su consumo. En la siguiente Tabla se describe los parámetros:

Tabla 4.17 Valores de Dimensionamiento FLA.
Filtro Lento de Arena (FLA)

Parámetros	Valores	Unidades de medida
Caudal de Total (Q_T)	1.5	m^3/h
Número de Unidades	2.0	
Velocidad de Filtración	0.1	m/h
Área Total (A_T)	15	m^2
Coeficiente de Costo Mínimo (k)	1.3	-
Longitud (L)	3.2	m
Ancho (b)	2.4	m

Aireación:

Se usa principalmente para el aumento de la concentración de oxígeno en el agua, así como para eliminar iones de Hierro y Manganeseo.

A continuación, en la siguiente tabla, se muestra el dimensionamiento de un aireador de bandejas:

Tabla 4.18 Valores de Dimensionamiento de Aireador de Bandejas.
Aireador de Bandejas

Parámetros	Valores	Unidades de medida
Área Total de Bandejas (A_{TB})	0.125	m^2
Carga Hidráulica (CH)	12	m/h
Caudal Total (Q_T)	1.5	m^3/h
Área Individual de Bandeja (A_{inB})	0.042	m^2
Número de Bandejas (N)	3	-
Ancho de Bandeja (w)	0.15	m
Longitud de Bandeja (L)	0.3	m
Altura Total de las Bandejas	0.75	m



(H _{TB})		
Distanciamiento entre Bandejas (d)	0.25	m

Desinfección:

La desinfección aunque con los valores obtenidos no es necesaria que se aplique, siempre es importante por método de prevención ante cualquier eventualidad. El método aplicado para desinfección es la Cloración, la cual a como su nombre la indica es la aplicación de Cloro al agua.

A continuación en la siguiente tabla se detalla los parámetros que debe tener el tanque de cloración así como la cantidad de Cloro a utilizar:

Tabla 4.19 Valores de Dimensionamiento en Desinfección.

Desinfección		
Parámetros	Valores	Unidades de medidas
Caudal	0.91	L/s
Dosis de Cloro	1	mg/L
Tiempo de Contacto de Cloro	900	s
Porcentaje de Cloro	0.95	%
Volumen del Tanque	0.4	m ³
Altura del Tanque	1	m
Radio	0.35	m
Diámetro	0.7	m
Nuevo pH	7.1	-



4.5 Balance de Contaminantes por Etapas

En esta sección lo que se hace es comparar el agua cruda en el punto de Aguas Arribas, con las normas CAPRE. También se detallará la eliminación de contaminantes por cada etapa de filtración y desinfección por la cual se hace pasar el agua. En la siguiente tabla se detalla lo anteriormente dicho:

Tabla 4.20 Eliminación de Contaminantes por Etapas.

Agua cruda en Aguas Arribas versus normas CAPRE					Eliminación de contaminantes por etapas				
Parámetros	Unidad	Valores Medidos	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible	FGDi	FGAC	FLA	Aireación	Desinfección
Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	31	1	15	23.25	11.63	0.59	0.59	0.59
Turbiedad	NTU	5.5	1	5	2.75	0.55	0	0	0
Temperatura	°C	31.4	18 a 30	-	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4
pH	-	6.85	6.5 a 8.5	-	6.85	6.85	6.85	6.85	7.06
Oxígeno Disuelto	mg/L	2.19	-	-	2.19	2.19	2.19	6.99	6.99
Cloro Residual	mg/L	-	0.5 a 1.0	-	-	-	-	-	-
Cloruros	mg/L	16.4	25	250	16.4	16.4	16.4	16.4	18.5
Conductividad	µS/cm	187.0	400	-	187.0	187.0	187.0	187.0	187.0
Dureza	mg/L CaCO ₃	88.16	400	-	88.16	88.16	88.16	88.16	88.16
Alcalinidad	mg/L	200.43	-	-	200.4	200.4	200.43	200.43	200.43



Agua cruda en Aguas Arribas versus normas CAPRE					Eliminación de contaminantes por etapas				
	CaCO3				3	3			
Sulfatos	mg/L	n.d	25	250	-	-	-	-	-
Aluminio	mg/L	0.008	-	0.2	0.008	0.008	0.0008	0.008	0.0008
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	92.0	-	1000	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0
Nitratos	mg/L	3.1	25	45	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
Parámetros	Unidad	Valores Medidos	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible	FGDi	FGAC	FLA	Aireación	Desinfección
Nitritos	mg/L	0.2	0.1	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Amonio	mg/L	0.05	0.5		0.05	0.05	0.03	0.03	0
Hierro	mg/L	0.05	-	0.3	0.02	0.01	0.005	0.003	0.005
Manganeso	mg/L	<0.02	0.1	0.5	< 0.04	<0.02	<0.001	<0.0003	<0.0003
Fluoruro	mg/L	0.35	-	0.7-1.5	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Arsénico	µg/L	< 0.50	-	0.01	< 0.50	< 0.50	< 0.05	<0.05	<0.05
Plomo	µg/L	< 0.01	-	0.01	< 0.01	< 0.01	<0.001	<0.001	<0.001
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	Negativo	Negativo	Negativo	-	-	-	-	-
Coliformes Totales	UFC/100 mL	Negativo	Negativo	Negativo	-	-	-	-	-



5. Conclusiones

- En la comunidad de Miquilse, San Lucas se realizaron muestreos en cuatro puntos: Aguas Arriba, Aguas Abajo, Afloramiento y el Grifo Comunal. Se encontró que en algunos de los puntos de muestreos había parámetros fuera de lo que establecen las normativas. Entre los parámetros están: Oxígeno Disuelto, Temperatura, Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Color Verdadero; mostrando así la necesidad de realizar un tratamiento al agua para que esta sirva de consumo humano.
- En la comparación que se hizo entre los resultados dados y los de la NTON 05 007 98 se determinó si cada uno de los parámetros cumple con los norma. Resultando que en los cuatro puntos en las categorías 2A y 2B cumplen con todos los parámetros, caso contrario con las aguas para el uso industrial y doméstico (Categoría 1A y 2A) que no son aptas sin un previo tratamiento.
- Al hacer el diagnóstico de calidad de agua mediante el ICA, se demostró que el punto de Aguas Arribas de Miquilse es el que mayor puntuación presentaba para ser seleccionado (ICA de 63.47). La variación entre los datos es de 3.34 lo cual indica que la calidad de un punto con respecto a otro es mínima.
- El tratamiento de agua consiste en la filtración en múltiples etapas (FiME). Dicho tratamiento se realizará con el fin de mejorar la calidad de agua y disminuir los costos de operación. Además del FiME también es necesario realizar aireación que aumente la concentración de oxígeno y haga apta el agua para consumo humano. Además se diseñó un tanque de cloración para que no exista ningún patógeno que altere con la vida.



5.1. Recomendaciones

- Se recomienda hacer muestreo cada seis meses como mínimo (según la OPS) en el punto Aguas Arribas, y al menos dos veces al año en los otros tres puntos. Se debe de realizar dichos análisis con más énfasis sobretodo en época lluviosa.
- El sistema de tratamiento por FiME debe ser evaluado por tres meses en la post obra para asegurar el buen funcionamiento de la planta además de valorar los límites de agua mínimo requeridos por la norma CAPRE, para que este quede funcionando de óptima manera. Aunque este fue diseñado para una vida útil de 15 años, se hace necesario establecer mantenimientos preventivos para evitar cualquier alteración tanto natural como externa al agua potable.
- Se hace necesaria la coordinación de la comunidad con las autoridades municipales, esto con el fin de garantizar la preservación de los recursos hídricos y en general los recursos naturales. Esto se debe llevar a cabo con jornadas de concientización de los recursos naturales.
- Bajo esta sinergia entre comunidad-alcaldía se recomienda que se realice una evaluación de toda la cuenca del Río Tapacalí, esto con el objetivo de demostrar obras de mitigación ante eventuales efectos ambientales. En ellas deben llevar plan de preservación de las zonas montañosas, así como la regeneración de zonas que han sido degradadas por la alta productividad agrícola, y el crecimiento de la frontera ganadera.
- Finalmente se debe comunicar los resultados esta tesis a la comunidad de Miquilse, y los diferentes interventores municipales para que coordinen campañas que conservación de los cuerpos de agua.



6. Referencias Bibliográficas

- Altamirano, M. (2005). *Distribución de la contaminación natural de Arsénico en Sébaco*. Managua: UNAN-Managua.
- Auge, M. (2006). *Agua subterránea: deterioro de calidad y reserva*. Buenos Aires: Departamento Nacional de Publicaciones.
- Collazo, M.P., & Montaña, J. (2012). *Manual de agua subterránea*. Montevideo: Denad Internacional S.A.
- Comisión para la Cooperación Ambiental. (2002). *El mosaico de América del Norte: Panorama de los problemas ambientales más importantes*. Montreal:CEC.
- Custodio, E., & Llamas, R. (2001). *Hidrología subterránea*. (Vol. I y II). Barcelona, España:Ediciones Omega, S.A.
- González Tapia, R.M. (2002). *Estudio sobre la calidad de agua y peligro de contaminación de los pozos de abastecimiento públicos ríos Viejo y Grande de Matagalpa en el Valle de Sébaco*. Managua:UNAN-Managua.
- Lin, S.D., & Lee, C. (2007). *Handbook of environmental engineering calculations*. New York:Mc Graw Hill.
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. México D.F:Editorial Reverté.
- Mihelcic, J. (2008). *Fundamentos de Ingeniería Ambiental*. México D.F:Limusa.
- ONU. (2012). *Calidad del agua*. New York:ONU-Agua.
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas*. Lima:OPS.
- Palacios, J. (2013). *Evaluación de la calidad del agua de la zona alta de Honduras de la subcuenca del Río Tapacali y sus afluentes*. Tesis no publicada. Universidad Centroamericana, UCA, Managua, Nicaragua.
- Romero Rojas, J.A. (1999). Aireación . En J.A. Romero Rojas, *Potabilización del Agua* (pp. 29-46). México D.F:Alfa Omega.



Sitios Web Visitados

Instituto de Agricultura. (2010). Recursos naturales y ambiente. Recuperado el 02 de Julio de 2014, de IARNA:
http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/7_Agua_superficial.pdf
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2003). *INECC*. Recuperado el 17 de Marzo de 2014, de
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/612/calidad.pdf>



Anexo A

NTON 05 007 98

A.1 Aguas Tipo 1 Destinadas al Uso Doméstico e Industrial (Potable)

Tabla A.1 Aguas Tipo 1.

Parámetro	Limite o Rango Máximo	
	Categoría 1A	Categoría 1B
Oxígeno Disuelto (OD)	> 4,0 mg/L	> 4,0 mg/L
DBO₅	2,0 mg/L	5,0 mg/L
pH	mín. 6,0 y máx. 8,5	mín. 6.0 y máx. 8,5
Color Real	< 15 mg/L Pt-Co	< 150 mg/L Pt-Co
Turbiedad	< 5 UNT	< 250 UNT
Fluoruros	mín. 0,7 mg/L y máx. 1,5 mg/L	< 1,7 mg/L
Hierro Total	0,3 mg/L	3 mg/L
Mercurio Total	0,001 mg/L	0,01 mg/L
Plomo Total	0,01 mg/L	0,05 mg/L
STD	1 000 mg/L	1 500 mg/L
Sulfatos	250 mg/L	400 mg/L
Zinc	3 mg/L	5 mg/L
Cloruros	250 mg/L	600 mg/L
Coliformes Totales	(**)	(***)
Cianuro Total	0,1 mg/L	



DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MIQUILSE, MUNICIPIO DE SAN LUCAS, MADRIZ

Parámetro	Limite o Rango Máximo
Cobre Total	2,0 mg/L
Cromo Total	0,05 mg/L
Detergentes	1,0 mg
Dispersantes	1,0 mg/L
Dureza como CaCO ₃	400 mg/L
Fenoles	0,002 mg/L
Manganeso Total	0,5 mg/L
Nitritos y Nitratos	10,0 mg/L
Plata Total	0,05 mg/L
Selenio	0,01 mg/L
Sodio	200 mg/L
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/L
Organoclorados	0,2 mg/L
Actividad α	0,1 Bq/L ^Φ
Actividad β	1,0 Bq/L ^Φ

Fuente: NTON 05 007-98; 1998.



A.2 Agua Tipo 2, Uso Agropecuario

Tabla A.2 Aguas Tipo 2.

Parámetro	Limite o Rango Máximo	
	Categoría 2A	Categoría 2B
Organismos de Coliformes Fecales	*	**
Organismos de Coliformes Totales	∩	∩∩
Aluminio	1,0 mg/L	
Arsénico Total	0,05 mg/L	
Bario	1,0 mg/L	
Boro	0,75 mg/L	
Cadmio	0,005 mg/L	
Cianuro	0,2 mg/L	
Cobre	0,2 mg/L	
Cromo Total	0,05 mg/L	
Hierro Total	1,0 mg/L	
Litio	5,0 mg/L	
Manganeso Total	0,5 mg/L	
Mercurio	0,01 mg/L	
Molibdeno	0,005 mg/L	
Níquel	0,5 mg/L	



DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MIQUILSE, MUNICIPIO DE SAN LUCAS, MADRIZ

Parámetro	Limite o Rango Máximo
Plata	0,05 mg/L
Plomo	0,05 mg/L
Selenio	0,01 mg/L
Sodio	200 mg/L
Sólidos Disueltos Totales	3 000 mg/L
Sólidos Flotantes	Ausentes
Vanadio	10,0 mg/L
Zinc	5,0 mg/L
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/L
Organoclorados	0,2 mg/L
Actividad α	0,1 Bq/L
Actividad β	1,0 Bq/L

Fuente: NTON 05 007 98; 1998.

(*) Promedio mensual menor de 1 000 NMP por cada 100 mL (**) Promedio mensual menor de 5 000 NMP por cada 100 mL (П) Promedio mensual menor de 100 NMP por cada 100 mL (ПП) Promedio mensual menor de 1 000 NMP por cada 100 mL



A.3 Aguas Tipo 3 Marinas o Medios Costeros Destinados a la Cría y Explotación de Moluscos Para su Consumo Humano

Tabla A.3 Aguas Tipo 3.

Parámetro	Limite o Rango Máximo
Oxígeno Disuelto (OD)	> 5,0 mg/L (*)
pH	mín. 6,5 y máx. 8,5
Aceites Minerales	0,3 mg/L
Detergentes no Biodegradables	< 1,0 mg/L
Detergentes Biodegradables	< 0,2 mg/L
Residuos de Petróleo, Sólidos Sedimentables y Flotantes	Ausentes
Metales y otras Sustancias Tóxicas	No Detectables (**)
Fenoles y sus Derivados	0,002 mg/L
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/L
Organoclorados	0,2 mg/L
Organismos Coliformes Totales	(***)
Actividad α	0,1 Bq/L
Actividad β	1,0 Bq/L

Fuente: NTON 05 00798; 1998.



A.4 Aguas Tipo 4 Destinadas a Balnearios, Deportes Acuáticos, Pesca Deportiva, Comercial y de Subsistencia

Tabla A.4 Aguas Tipo 4.

Parámetro	Limite o Rango Máximo
Oxígeno Disuelto	> 5,0 mg/L (*)
pH	mín. 6,5 y máx. 8,5
Aceites Minerales	0,3 mg/L
Detergentes	< 1 mg/L
Sólidos Disueltos	Desviación menor de 33% de la condición natural
Residuos de Petróleo, Sólidos sedimentables y Flotantes	Ausentes
Metales y Otras Sustancias Tóxicas	No detectables (**)
Fenoles y sus Derivados	0,002 mg/L
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/L
Organoclorados	0,2 mg/L
Actividad α	0,1 Bq/L
Actividad β	1,0 Bq/L

Fuente: NTON 05 007 98; 1998.

(*) También puede ser expresado como porcentaje de saturación y debe de ser mayor de 50% (**) Según métodos aprobados por el INAA (***) Promedio mensual menor de 70 NMP por cada 100 mL.



A.5 Aguas Tipo 5 Destinadas para Usos Industriales que No Requieren Agua Potable

Tabla A.5 Aguas Tipo 5.

Parámetro	Limite o Rango Máximo
Fenoles y sus Derivados	0,002 mg/L
Aceites y Espumas	Ausentes
Sustancias que Originan Sedimentación de Sólidos y Formación de Lodos	Ausentes

Fuente: NTON 05 007 98; 1998.

A.6 Aguas Tipo 6 Destinadas a la Navegación y Generación de Energía

Tabla A.6 Aguas Tipo 6.

Parámetro	Limite o Rango Máximo
Oxígeno Disuelto (OD)	> 3,0 mg/L

Fuente: NTON 05 007-98; 1998.



Anexo B

NTON 09 003 39

B.1 Aireación

La aireación es un proceso para mejorar la calidad del agua, mediante el cual ésta se pone en contacto íntimo con el aire. El proceso se utiliza para conseguir:

- Remoción de sabores y olores (algas)
- Remoción de gases disueltos que perjudican la calidad del agua (gas sulfhídrico y sulfuroso)
- Incremento del pH del agua por la eliminación de dióxido carbono hasta su punto de equilibrio (bajar la corrosividad)
- Oxidación de ciertas sustancias existentes en el agua (bicarbonato ferroso y Manganoso)

Una aireación racional, exige el proyecto y construcción de unidades (aireadores), cuya eficiencia es variable de acuerdo a la calidad y cantidad del agua. Para este objeto, se da a continuación algunos datos importantes que facilitarán el cálculo y elección del aireador.

- a. Remoción de anhídrido carbónico
Aguas con menos de 10 g/m³, hasta 50%
Aguas con más de 10 g/m³, 60% a 80%
- b. Tiempo de aireación más eficiente 15 s
Remoción de gas sulfhídrico, tiempo mínimo de aireación de 3s
- c. Remoción de hierro y manganoso
140 g de oxígeno precipitan 1 000 g de hierro
124 g de oxígeno precipitan 1 000 g de manganoso

Prácticamente: Deben tomarse el doble de los valores de oxígeno indicados, para reducir la misma cantidad de Fe o Mn.



Tipos de Aireadores

A continuación, se indican los diferentes tipos de aireadores con sus respectivos parámetros de diseño:

Cascada: son plataformas circulares de madera o concreto, que se superponen sobre un mismo eje central, en sentido decreciente de sus diámetros de abajo hacia arriba, sobre las cuales se hace pasar el agua a airear.

Capacidad: 300 a 1 000 m³/m²-d

Número de plataformas: 3 a 4

Altura total del aireado: 0,80 a 1,60 m

Distancia entre plataformas: 0,20 a 0,50 m

Entrada del agua: por la parte superior (usar un tubo central de llegada)

Salida del agua: de la plataforma de acumulación mediante un tubo localizado en el fondo de la plataforma.

Tableros o Bandejas: está formado por tableros o bandejas perforadas superpuestas, a través de las cuales pasa el agua. La primera o superior, se destina a la distribución del agua, las demás contienen un material poroso como: coque, grava o escorias volcánicas, para aumentar la eficiencia de la aireación.

Capacidad: 300 m³/m²-d a 900 m³/m²-d

Números de plataformas o bandejas: 3 a 6 unidades

Altura total del aireador: 2,10 m a 2,70 m

Separación vertical entre tableros: 0,40 m a 0,60 m

Orificios de distribución:

Primer tablero: orificios de 5 mm a 10 mm

Otros tableros: orificios de 8 mm a 15 mm, cada 80 mm - 100 mm centro a centro

Relleno:

Primer tablero: sólo distribución

Demás tableros: coque, grava o escoria, tamaño 0,012 m a 0,025 m, altura del material 0,20 m a 0,25 m

Depósito inferior: acumulación del agua



Escaleras: está formado por varios peldaños, sobre los cuales pasa el agua facilitando el contacto con el aire:

Número de escalones: 2 a 5

Espesor de la lámina de agua (máximo): 0,05 m

Dimensión de cada escalón: altura de 0,20 m - 0,40 m

Ancho: de 0,25 m - 0,45 m

Material: concreto o madera

Pérdida de carga: 1,00 m

Velocidad: 1,00 a 1,20 m/s

Debe proveerse de una pestaña o saliente en los escalones para evitar la adherencia de la vena líquida.

B.2 Tratamiento por Filtración Lenta

La filtración lenta es un proceso de tratamiento del agua, que consiste en hacerla pasar por un lecho de arena en forma descendente o ascendente y a muy baja velocidad, siendo sus principales ventajas:

- No hay que utilizar productos químicos (excepto cloro para desinfección).
- Sencillez del diseño, construcción y operación.
- No requiere energía eléctrica.
- Facilidad de limpieza (no requiere retrolavado).

Las principales desventajas son:

- Poca flexibilidad para adaptarse a condiciones de emergencias.
- Pobre eficiencia en remoción de color (20%-30%)
- Necesita una gran área para su instalación
- Presenta pobres resultados para aguas con alta turbiedad.
- Se necesita una gran cantidad de medio filtrante.

La turbiedad del agua cruda puede limitar el rendimiento del filtro, por lo cual a veces es necesario aplicar algún pretratamiento tal como prefiltrado horizontal o vertical sedimentación laminar o prefiltración rápida en medio granular grueso.



Descripción General

Un filtro lento de flujo descendente consiste en una caja rectangular o circular que contiene un lecho de arena, un lecho de grava, un sistema de drenaje, dispositivos simples de entrada y salida con sus respectivos controles y una cámara de agua tratada para realizar la desinfección.

Criterios de Diseño

Calidad del Agua: se deberá verificar que la calidad del agua a filtrarse satisfaga en época seca y lluviosa los límites de aplicación del proceso.

Parámetro	Valor Máximo
Color	< 50 Unidades
Turbiedad	< 50 Unidades

Estructura de Entrada: constará de una cámara de distribución con compuertas y rebose. Se instalará un vertedero triangular de pared delgada para aforar el influente. La entrada del agua al filtro se efectuará por medio de un vertedero muy largo de pared gruesa, para obtener una delgada lámina de agua que se adhiera al muro, para evitar que se formen chorros sobre el lecho, que lo dañaría, además se colocará sobre el lecho una placa de concreto para que reciba el impacto del agua.

Estructura de Salida: consistirá en un vertedero de control, localizado a una altura mayor que la cota del extremo superior del lecho, de tal manera que el lecho filtrante quede siempre sumergido, éste regulará la carga mínima.

Tasa de Filtración:

<i>Turbiedad (UTN)</i>	<i>Tasa (m³/m²-d)</i>
10	7,20 – 20,40
50	4,8
50 - 100	2,4



Medio Filtrante: una capa de arena de 1,20 m de espesor con la siguiente características:

Tamaño efectivo: $0,15 \text{ mm} \leq TE \leq 0,35 \text{ mm}$

Coeficiente de uniformidad: $CU \leq 2,00$

Grava de soporte en cuatro capas como se muestra a continuación:

Capa	Tamaño (pulg.)	Espesor (m)
1	1 – 2	0,10 - 0,12
2	$\frac{1}{2}$ – 1	0,08 - 0,10
3	$\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{2}$	0,05 - 0,10
4	$\frac{1}{8}$ – $\frac{1}{4}$	0,05 - 0,10

Sistema de Drenaje: el sistema de drenaje puede ser de diferentes tipos: ladrillos de barro cocidos tendidos de canto, con otros ladrillos encima tendidos de plano dejando un espacio de un centímetro entre los lados; tuberías PVC de drenaje, perforadas con orificios no mayores de 1" (2,54 cm), las cuales pueden desembocar en forma de espina de pescado a un conducto o tubería central o a un pozo lateral con una pendiente del 1% a 2%; bloques de concreto poroso en forma de puente, que confluyen a un canal central.

Número de Unidades: se recomienda el uso de dos unidades como mínimo, en cuyo caso cada una de ellas deberá diseñarse para atender el consumo máximo diario. Debe considerarse una capacidad adicional de reserva como se indica en la tabla siguiente:

Población	Número de Unidades	Unidades de Reserva
> 2 000	2	100 %
2 000 – 10 000	3	50 %

Caja de filtro: la caja del filtro puede ser rectangular o circular con un borde libre de 0,20 m, construida de concreto simple o reforzado y deberá ser resistente a las



diferentes fuerzas que estará sometida durante su vida útil, además deberá ser hermética para evitar pérdidas de agua e ingreso de agentes contaminantes. En el caso de cajas rectangulares las dimensiones deberán estar en la siguiente relación:

Número de Unidades	Largo/Ancho
2	1,33
3	1,50
4	2,00

Dispositivos de Regulación y Control: estos dispositivos estarán constituidos por: vertederos, válvulas u otros accesorios, instalados en la entrada o salida del filtro, para mantener la velocidad de filtración a una tasa constante.

B.3 Desinfección del Agua

Si la calidad del agua no satisface las normas recomendadas deberá someterse a un proceso de potabilización. Toda agua que se abastece para consumo humano debe someterse a desinfección; incluso la de origen subterráneo para prevenir cualquier contaminación durante su distribución.

Tipo de Cloro: el cloro usado nacionalmente para desinfección del agua puede ser como solución de hipoclorito de sodio (líquido) o como cloro gas. En general, el hipoclorito se recomienda para abastecimiento de pequeñas poblaciones.

La selección del tipo de cloro a utilizar debe hacerse tomando en cuenta los siguientes aspectos:

La capacidad requerida de la estación de cloración:

$$Ca = (Q \times C) / 1\,000 \quad (B.1)$$

Dónde:

Ca: es la capacidad de diseño de la estación de cloración, Kg/d

Q: es el caudal de agua, máximo horario, m³/d



C: es la dosis de cloro a aplicar, mg/L

En general se recomienda hipocloración para capacidades menores de 1 Kg/d y caudales de 130 gpm como máximo (8,20 L/s).

Capacidad de sostén de la tecnología a instalar, una pequeña comunidad puede reparar por sus propios medios un hipoclorador de carga constante.

El tiempo de almacenamiento del hipoclorito no debe ser mayor de un mes.

Concentración de cloro en el envase; el hipoclorito tienen 120 g/L de cloro; en el caso de los cilindros, se puede considerar que su peso neto corresponde al cloro puro.

Selección de la Capacidad de los Envases de Cloro Gaseoso: el cloro gas se consigue comercialmente en cilindros de 68 Kg y contenedores de 908 Kg. El tamaño de los envases a utilizar depende de la capacidad de la estación, como valores guía se mencionan:

- La extracción de cloro de un cilindro de 68 Kg no debe sobrepasar los 18 Kg/d.
- La extracción de cloro de un contenedor de 908 Kg no debe sobrepasar los 182 Kg/d.
- Instalar varios cilindros de 68 Kg/d en serie implica una cantidad considerable de cilindros llenos, vacíos y en reserva.
- Se recomienda utilizar cilindros de 68 Kg para estaciones con capacidad máxima de 25 Kg/d de cloro y contenedores de 1 Tonelada para capacidades mayores.
- El inventario mínimo de cloro en la estación, debe ser suficiente para suplir la demanda de 15 días de operación, normalmente debe ser suficiente para un mes.

Criterios de Diseño para Casetas o Salas de Desinfección: el diseño de las casetas o salas de desinfección deben cumplir los siguientes requisitos:



- Deben estar ubicados lo más cerca posible al punto de aplicación del cloro.
- Deben tener fácil acceso para camiones o carretillas de mano (para cilindros cuando se usen contenedores).
- Preferiblemente debe ubicarse en una edificación totalmente independiente de las otras; si esto no es factible, las paredes comunes entre la estación de cloración y los otros cuartos deben ser herméticos. La puerta de acceso debe comunicar a un patio o local bien ventilado. Cerca de la estación de cloración no existirán fuentes externas que generen altas temperaturas o chispas.
- Se diseñará de tal forma que la ventilación natural diluya cualquier fuga de cloro sin causar daños a la estación o edificaciones cercanas. La luz solar no debe incidir directamente sobre los cilindros.
- Las paredes se deben construir de concreto, bloques, o ladrillo cuarterón; el techo de asbesto cemento, en general deben ser materiales resistentes e incombustibles.
- Las puertas deben poderse abrir sin dificultad desde el interior del local.
- El almacenamiento del cloro estará ubicado en un local independiente del cuarto de cloradores.
- Para estaciones grandes, de más de 50 Kg/d se requiere un sistema de ventilación forzada capaz de hacer un cambio de aire del local en 4-5 minutos y su descarga se ubicará a una altura suficiente para garantizar una buena disolución del cloro sin efectos perjudiciales en caso de fugas.
- De ser factible se colocará en la puerta de acceso una ventanilla de inspección de vidrio.
- Es deseable que a nivel de piso se proporcione un sistema de drenaje para el cloro que se puede fugar.
- El área requerida se estimará considerando los equipos a instalar, espacio para mantenimiento y manipulación, inventario de cilindros llenos, vacíos y en operación, bodega de herramientas, ampliaciones futuras, etc.

Equipos de Protección: como condiciones mínimas de seguridad las estaciones de cloración deben poseer:

- Una carretilla de mano para manipulación de cilindros o un sistema de izaje de 2 Toneladas, según el caso.



- Máscaras anticloro especiales.
- Amoniaco para detección de fugas
- Herramientas adecuadas para la operación de los recipientes y equipos
- Herramientas adecuadas para eliminar fugas de cloro.
- Extinguidor de incendios.

Formas de Aplicación del Cloro: el hipoclorito de sodio se aplicará diluyendo previamente la solución concentrada de fábrica (130 g/L) con agua limpia hasta una concentración máxima de 1% al 3%. Para su dosificación se usarán hipocloradores de carga constante de fabricación nacional. La aplicación de cloro gas puede hacerse en dos formas:

- Alimentación directa del gas con la presión interna del cilindro, este sistema se recomienda para sitios donde no hay energía eléctrica ni agua con la suficiente presión para lograr una buena operación de un inyector, y por otra parte, es imprescindible comprobar que la sumergencia del difusor y la contrapresión en el punto de aplicación caen dentro del rango especificado por el fabricante del equipo.
- Alimentación por succión de vacío con inyector: es un sistema más eficiente ya que se logra la extracción de todo el gas contenido en los cilindros; debe usarse siempre que se puedan obtener con un costo razonable, las condiciones necesarias de presión de agua en el inyector, ya sea con una toma de un tanque con la suficiente carga, con una bomba reforzadora o con una derivación de la descarga de una bomba a la presión adecuada.

Punto de Aplicación: para estación de bombeo con una bomba de eje vertical se recomiendan dos diseños típicos:

- Con bomba reforzadora: una derivación de la línea de descarga, tomada después de la válvula cheque, se lleva a la succión de la bomba reforzadora, la cual elevará su presión a un valor tal que pueda crear el vacío suficiente en el inyector y vencer la contrapresión de la línea al reinyectar la solución de cloro. La concentración mínima admisible de la solución es de 1% de cloro.



- En la línea de descarga de un campo de pozos o de una estación de bombeo se recomienda la aplicación del cloro en la tubería que recibe la descarga de todas las bombas. Debe preverse un sistema de control del cloro residual de tal forma que se regule la cantidad de cloro a aplicar en función del caudal bombeado. En este caso, es necesario instalar bombas reforzadoras para la inyección de la solución.

Tiempo de Contacto: se recomienda que el tiempo de contacto entre el cloro y el agua sea de 30 minutos antes de que llegue al primer consumidor; en situaciones adversas se puede aceptar un mínimo de 10 minutos. En caso de ser necesario, debe diseñarse tanques de contacto que garanticen el tiempo mínimo mencionado.

La concentración de cloro residual que debe permanecer en los puntos más alejados de la red de distribución deberá ser 0,2 mg/L - 0,5 mg/L después del período de contacto antes señalado. Se recomienda el método de dosificación de cloro sobre el punto de quiebre, recomendado por análisis de laboratorio de agua.



Anexo C Dimensionamiento

Dimensionamiento de Caudal

Primer paso: Cálculo de población futura

P_o (Población Actual): 328 personas

i (Tasa de crecimiento): 2.5 %

n (periodo de estimación futura): 15 años

P_f (Población Futura)

$$P_f = P_o + \left[1 + \left(\frac{i}{100} \right) \right]^n \quad (\text{C.1})$$

$$P_f = 328 + \left[1 + \left(\frac{2.5\%}{100} \right) \right]^{15} = 475 \text{ personas} \quad (\text{C.2})$$

Segundo paso: Cálculo de caudal promedio para una comunidad

Dot (Dotación o consumo promedio): 75 L/d-personas

Con la siguiente ecuación se calcula el Caudal Total:

$$Q_T = \text{Dot} * P_f \quad (\text{C.3})$$

$$Q_T = \left(75 \frac{\text{L}}{\text{d}} \right) * (475 \text{ personas}) = 35625 \frac{\text{L Personass}}{\text{d}} = 1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (\text{C.4})$$

Caudal Total recalculado

Razón de flujo (R): 0.20 (20%)

$$Q_{TR} = Q_T + R * Q_T \quad (\text{C.5})$$

$$Q_{TR} = 1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} + (0.2 * 1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}) = 1.8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (\text{C.6})$$

Dimensionamiento del Filtro Grueso Dinámico (FGDi)

Antes de hacer el dimensionamiento de FGDi es necesario tomar en cuenta la siguiente tabla:

Tabla C.1 Resumen de valores de diseño para el FGDi

Criterio	Valores Recomendados
Período de diseño (años)	8-15
Período de operación (h/d)	24
Velocidad de filtración (m/h)	2-3
Área de filtración por unidad (m ²)	< 10
Velocidad superficial del flujo durante el lavado	0.15 – 0.3



Para el cálculo de dimensionamiento de las unidades de filtración se hace lo siguiente:

Área total de filtro (A_t)

Tasa de Filtración (T_f): 2 m/h

$$A_t = \frac{Q_{TR}}{T_f} \quad (C.7)$$

$$A_t = \frac{1.8 \frac{m^3}{h}}{2 \frac{m}{h}} = 0.9 m^2 \quad (C.8)$$

Área del filtro de cada unidad (A_{fi})

Asumiendo dos unidades de filtración (N): 2

$$A_{fi} = \frac{A_t}{N} \quad (C.9)$$

$$A_{fi} = \frac{0.9 m^2}{2} = 0.45 m^2 \quad (C.10)$$

Dimensionamiento de FGD_i

$$A_{fi} = L * a \quad (C.11)$$

$$L = 2 * a \quad (C.12)$$

Entonces el área del filtro por unidad es:

a: ancho de unidad de filtración (m)

L: Longitud de unidad de filtración (m)

$$A_{fi} = 2a * a \quad (C.13)$$

$$a = \sqrt{\frac{A_{fi}}{2}} \quad (C.14)$$

$$a = \sqrt{\frac{(0.45 m^2)}{2}} = 0.5 m \quad (C.15)$$

$$L = 2 * a = 2 * (0.5 m) = 1 m \quad (C.16)$$

H_{tf} : Altura total del FGD_i

M_f : Material Filtrante (m)

LS: Lecho de Soporte (m)

BL: Borde Libre (m)

A: Espesor de Agua en filtro (m)

$$H_{tf} = M_f + LS + BL + A \quad (C.17)$$

$$H_{tf} = 0.6 m + 0.3 m + 0.1 m + 0.1 m = 1.1 m \quad (C.18)$$



Dimensionamiento del Filtro Grueso Ascendente en Capas (FGAC)

Antes de dimensionar el FGAC es necesario tomar como referencia la siguiente tabla

Tabla C.2 Guía de diseño para FGA

Criterio	Valores Recomendados
Periodo de diseño (años)	8 - 12
Periodo de operación (h/d)	24
Velocidad de filtración (m/h)(*)	0.3 - 0.6
Número de unidades en serie	
. FGAC	1
. FGAS	2 - 3
Lecho Filtrante	
Longitud total (m)	
. FGAC	0.60 - 0.90
. FGAS	1.15 - 2.35
Tamaño (mm)	Según tabla
Lecho de soporte total	
. Longitud (m)	0.30 - 1.25
. Tamaño (mm) (**)	Según tabla
Altura sobrenadante de agua (m)	0.10 - 0.20
Carga estática de agua para lavado en contraflujo (m)	2.5 - 3.0
Área de filtración por unidad (m ²)	15 - 25
(*) A mayor contaminación del agua afluente, menor velocidad de filtración.	

Área superficial

Área Superficial (A_s)

Velocidad de Filtración (V_f): 0.3 a 0.6 m/h

Área Individual del FGAC (A_i)

Número de FGAC (N)

Ancho por unidades de FGAC (a)

$$A_s = \frac{Q_T}{V_f} \quad (\text{C.19})$$

$$A_s = \frac{\left(1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{\left(0.3 \frac{\text{m}}{\text{h}}\right)} = 5 \text{ m}^2 \quad (\text{C.20})$$

$$A_i = \frac{Q_T}{N \cdot V_f} \quad (\text{C.22})$$

$$A_i = \frac{1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{2 \cdot 0.3 \text{ m/h}} = 2.5 \text{ m}^2 \quad (\text{C.23})$$

$$a = \sqrt{A_i} = \sqrt{2.5 \text{ m}^2} = 1.58 \text{ m} \quad (\text{C.24})$$

Longitud (L) es igual al Ancho (a) entonces $L=1.58 \text{ m}$



Dimensionamiento del Filtro Lento de Arena (FLA)

Área superficial de FLA

Velocidad de Filtración (V_f): 0.1 a 0.2 m/h

Número de unidades de filtros (N): 2

$$A_T = \frac{Q_T}{V_f} \quad (\text{C.25})$$

$$A_T = \frac{\left(1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{\left(0.1 \frac{\text{m}}{\text{h}}\right)} = 15 \text{ m}^2 \quad (\text{C.26})$$

Por cada unidad de FLA se calcula si Área Individual (A_i)

$$A_i = \frac{Q_T}{N * V_f} = \frac{\left(1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{\left(2 * 0.1 \frac{\text{m}}{\text{h}}\right)} = 7.5 \text{ m} \quad (\text{C.27})$$

Coeficiente de mínimo costos (K)

$$K = (2 * N) / (N + 1) \quad (\text{C.28})$$

$$K = \frac{2 * 2}{2 + 1} = 1.33 \quad (\text{C.29})$$

Longitud de Unidad (L)

$$L = (A_i * K)^{1/2} \quad (\text{C.30})$$

$$L = (7.5 \text{ m}^2 * 1.33)^{1/2} = 3.2 \text{ m} \quad (\text{C.31})$$

Ancho de unidad

$$b = (A_i / K)^{1/2} \quad (\text{C.32})$$

$$b = (7.5 \text{ m}^2 / 1.33)^{1/2} = 2.4 \text{ m} \quad (\text{C.33})$$

Aireador de bandeja

C_H = Carga Hidráulica (550 m/d – 1 800 m/d)

N_B = Número de Bandejas (4-6 / 3-5)



S_B = Separación entre Bandeja (0,30 m – 0,75 m)

H_A = Altura del Aireador (1,20 m – 3,0 m)

1. Cálculo de área total de bandeja

$$A_{TB} = \frac{Q_T}{C_H} \quad (C.34)$$

$$A_{TB} = \frac{1.5 \frac{m^3}{h}}{12 \frac{m}{h}} = 0.125 m^2 \quad (C.35)$$

A_{TB} : área total de bandejas (m^2)

C_H : carga hidráulica (m/d)

Q_D : caudal de diseño (m^3/d)

2. Cálculo de área individual de cada bandeja

$$A_{inB} = \frac{A_{TB}}{n} \quad (C.36)$$

$$A_{inB} = \frac{0.125 m^2}{3} = 0.042 m^2 \quad (C.37)$$

A_{inB} : área individual de bandeja (m^2)

n : número de bandejas

3. Cálculo de Longitud y Ancho (Para bandejas rectangulares)

$$w = \sqrt{\frac{A_{inB}}{2}} \quad (C.38)$$

$$w = \sqrt{\frac{0.042 m^2}{2}} = 0.15 m \quad (C.39)$$

$$L = 2w \quad (C.40)$$

$$L = 2 * 0.15 m = 0.3 m \quad (C.41)$$

w : ancho de bandeja (m)

L : Longitud de bandeja (m)



4. Cálculo de altura de bandejas

$$H_{TB} = n * d \quad (C.42)$$

$$H_{TB} = 3 * 0.25 \text{ m} = 0.75 \text{ m} \quad (C.43)$$

d: distanciamiento entre bandejas (m)

H_{TB}: altura total de bandejas

5. Cálculo de concentración de Oxígeno al final de pasar por las bandejas

Para cada bandeja se hace mediante la siguiente ecuación:

$$C_{Oxi} = C_s - \left((C_s - C_{oxyi}) e^{K_L \alpha * t} \right) \quad (C.44)$$

Primera Bandeja

$$C_{Oxi} = \frac{7.40 \text{ mg}}{L} - \left(\left(\frac{7.40 \text{ mg}}{L} - \frac{2.19 \text{ mg}}{L} \right) * e^{(-1,29h^{-1} * 0,66h)} \right) = 5.18 \text{ mg/L} \quad (C.45)$$

Segunda Bandeja

$$C_{Oxi} = \frac{7.40 \text{ mg}}{L} - \left(\left(\frac{7.40 \text{ mg}}{L} - \frac{5.18 \text{ mg}}{L} \right) * e^{(-1,29h^{-1} * 0,66h)} \right) = 6.45 \text{ mg/L} \quad (C.46)$$

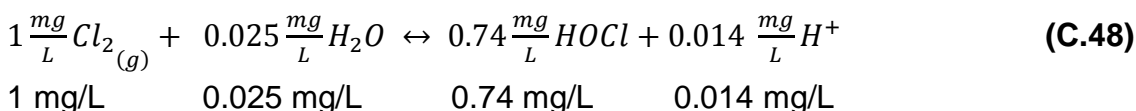
Tercera Bandeja

$$C_{Oxi} = \frac{7.40 \text{ mg}}{L} - \left(\left(\frac{7.40 \text{ mg}}{L} - \frac{6.45 \text{ mg}}{L} \right) * e^{(-1,29h^{-1} * 0,66h)} \right) = 6.99 \frac{\text{mg}}{L} \quad (C.47)$$



Desinfección

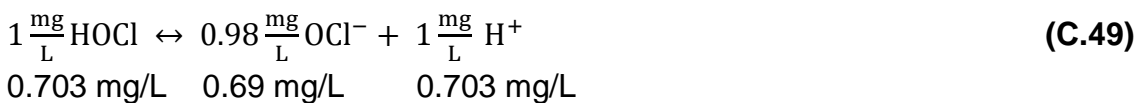
El método de desinfección se realizará con el método de cloración, ya que este es barato y muy efectivo para la eliminación de microorganismos patógenos. La dosis que se debe aplicar de cloro gaseoso al agua debe ser de 1 mg/L. la reacción entre el agua y el cloro gaseoso es la siguiente:



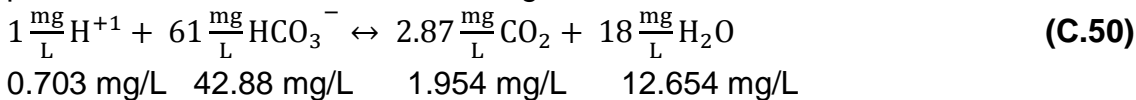
Mediante la siguiente tabla se demuestra el porcentaje de disociación de HOCl que depende del pH. El pH es igual a 6.85.

pH	HOCl	OCI ⁻
6	98%	2%
7	80%	20%
8	27%	73%
9	4%	96%

Mediante la siguiente reacción se ve la generación de oxígeno, relacionan con el HOCl. Cabe resaltar que a las condiciones de pH que tenemos, se puede asumir una disociación de 95%, (0.703 mg/L) porque entre más incrementa el pH, disminuye el porcentaje de disociación:



Mediante la cantidad de oxígeno producido, se elige la reacción donde están presentes el ácido carbónico e hidrógeno:





Con dichos valores de HCO_3^- y de CO_2 , se recalculan las concentraciones nuevas, para así determinar el pH:

$$[\text{HCO}_3^{-1}]_s = [\text{HCO}_3^{-1}]_c - [\text{HCO}_3^{-1}]_c \quad (\text{C.51})$$

$$[\text{HCO}_3^{-1}]_s = 322.56 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - \left(42.88 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = 276.68 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{HCO}_3^{-1} \quad (\text{C.52})$$

Para dióxido de carbono:

$$[\text{CO}_2]_s = [\text{CO}_2]_e + [\text{CO}_2]_p \quad (\text{C.53})$$

$$[\text{CO}_2]_s = 0 \frac{\text{mg}}{\text{L}} + 42.88 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 42.88 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \quad (\text{C.54})$$

Ahora para calcular el pH se debe de pasar estas concentraciones másicas a molar:

$$[\text{HCO}_3^{-1}] = \frac{276.68 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{61 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 1000 \frac{\text{mg}}{\text{g}}} = 0.00454 \text{ M} \quad (\text{C.55})$$

$$[\text{CO}_2] = \frac{42.88 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 1000 \frac{\text{mg}}{\text{g}}} = 0.00102 \text{ M} \quad (\text{C.56})$$

Con la ecuación de pH se encuentra el mismo:

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{HCO}_3^{-1}]}{[\text{CO}_2]} \quad (\text{C.57})$$

Donde pKa= 6.41

$$\text{pH} = 6.41 + \log \frac{[0.00454 \text{ M}]}{[0.00102 \text{ M}]} = 7.058 \quad (\text{C.58})$$

El pH resultante es de 7.058, lo cual según las normas CAPRE están dentro de los rangos necesarios. Y no es necesaria la corrección de pH.



Dimensionamiento de Tanque de Cloración y dosis

Para calcular el peso de Cloro necesario (P) para desinfectar el agua es necesario realizarla mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q_d * DC * t_c}{10 \times 10^6 \left(\frac{\% \text{Cloro}}{100} \right)} \quad (\text{C.59})$$

$$P = \frac{(0.906 \text{ L/s}) * \left(1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * 900 \text{ s}}{10 \times 10^6 \left(\frac{95 \%}{100} \right)} = 0.0039 \text{ kg} \quad (\text{C.60})$$

La dosis de cloro (DC): 1 mg/L

Tiempo de contacto (t_s): 900 s

Caudal de diseño (Q_d): 0.906 L/s

Porcentaje de cloro (% Cloro): 95%

Para el dimensionamiento del tanque se hace lo siguiente:

$$V_{\text{tanque}} = Q_d * t_c \quad (\text{C.61})$$

$$V_{\text{tanque}} = (0.412 \text{ L/s}) * 900 \text{ s} = 370.8 \text{ L} = 0.370 \text{ m}^3 \approx 0.4 \text{ m}^3 \quad (\text{C.62})$$

Una vez obtenido el Volumen del tanque se puede despejar de la altura para así dimensionarlo todo:

$$H_{\text{tanque}} = \frac{V_{\text{tanque}}}{A_{\text{tanque}}} \quad (\text{C.63})$$

Como tenemos dos incógnitas se procede con la ecuación del volumen del tanque a despejar altura:

$$H_{\text{tanque}} = \frac{V_{\text{tanque}}}{\pi * r^2} \quad (\text{C.64})$$

Donde el valor del Radio (r): 0.35 m

$$H_{\text{tanque}} = \frac{0.3708 \text{ m}^3}{\pi * (0.35)^2} = 0.96 \text{ m} \approx 1 \text{ m} \quad (\text{C.65})$$



Ya con esto se tiene las dimensiones del tanque.

En la siguiente tabla se muestran las ecuaciones que se usan para el cálculo de ICA:

Tabla C.4 Ecuaciones para cálculo ICA

Parámetro	Función del subíndice (I)
Coliformes Fecales	$I_{\text{ColiF}} = 106 (\text{CF})^{-0.1285}$
OD % Sat	$I_{\text{OD}} = 0.82(\text{OD}) + 10.56$
DBO_5	$I_{\text{DBO5}} = 108 (\text{DBO}_5)^{-0.3494}$
Coliformes Totales	$I_{\text{ColiT}} = 136 (\text{CT})^{-0.1311}$
Nitratos	$I_{\text{NO3}} = 125 (\text{NO}_3)^{-0.2718}$
Conductividad	$I_{\text{Cond}} = 506 (\text{Cond})^{-0.3315}$
Temperatura	$I_T = 10^{2.004 - 0.0382 \Delta T}$
pH	$\text{Si } \text{pH} < 6.9 \quad \textcircled{\otimes} \quad I_{\text{pH}} = 10^{0.6803 + 0.1856 (\text{pH})}$ $\text{Si } 6.9 \leq \text{pH} \leq 7.1 \quad \textcircled{\otimes} \quad I_{\text{pH}} = 100$ $\text{Si } \text{pH} > 7.1 \quad \textcircled{\otimes} \quad I_{\text{pH}} = 10^{3.65 - 0.2216 (\text{pH})}$
Cloruros	$I_{\text{Cl}^-} = 391 (\text{Cl}^-)^{-0.3480}$
Dureza	$I_{\text{Dur}} = 552 (\text{Dur})^{-0.4488}$
Alcalinidad	$I_{\text{Alc}} = 110 (\text{Alc})^{-0.1342}$
Color	$I_{\text{Color}} = 127 (\text{Color})^{-0.2394}$



Porcentajes de remoción en cada unidad FiME, Aireación y Desinfección

Tabla C.5 Porcentajes de remoción en FGD_i.

Parámetros	Intervalo de porcentajes de remoción (%)	Porcentaje tomado (%)
Turbiedad	30-50	50
Color Real	10-25	25
Hierro	40-70	60
Manganeso	40-70	60
Coliformes Fecales	50-90	90

Tabla C.6 Porcentajes de remoción en FGAC.

Parámetros	Intervalo de porcentajes de remoción (%)	Porcentaje tomado (%)
Turbiedad	50-80	80
Color Real	20-50	50
Hierro	50	50
Manganeso	50	50

Tabla C.7 Porcentajes de remoción de FLA.

Parámetros	Intervalo de porcentajes de remoción (%)	Porcentaje tomado (%)
Turbiedad	1 NTU se reduce	1 NTU
Color Real	30-90	90
Hierro	95	95
Manganeso	95	95



Parámetros	Intervalo de porcentajes de remoción (%)	Porcentaje tomado (%)
Metales Pesados	30-90	90
Amonio	30-70	60

Tabla C.8 Porcentajes de remoción en Aireador por Bandejas.

Parámetros	Intervalo de porcentajes de remoción (%)	Porcentaje tomado (%)
Hierro	40	40
Manganeso	70	70

Desinfección


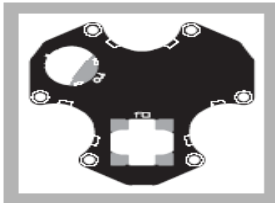
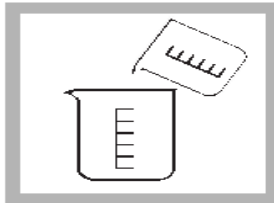


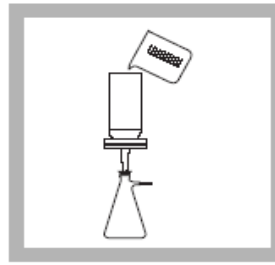
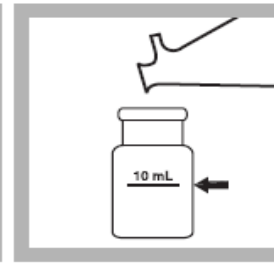
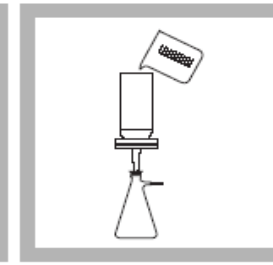
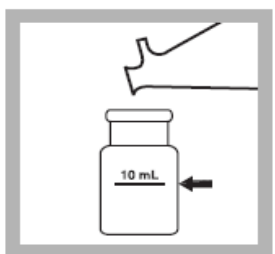

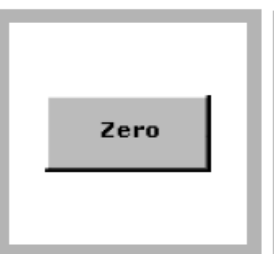

Se eliminan todos los componentes patógenos: Coliformes Fecales, Coliformes Totales y Amonio



Anexo D

Pruebas de Laboratorio

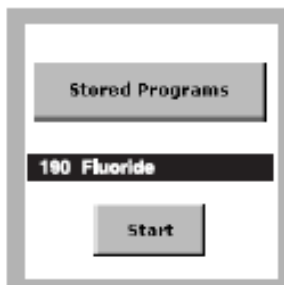
Color Verdadero

Platinum-Cobalt		Method 8025	
			
<p>1. Select the test. NCASI: Use Program 125 for the NCASI test.</p>	<p>2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.</p>	<p>3. Collect 200 mL of sample in a 400-mL beaker. NCASI: Adjust the pH as described in Test Preparation.</p>	<p>4. Assemble the filtering apparatus (0.45 micron membrane filter, filter holder, filter flask, and aspirator). NCASI: Test prescribes a 0.8-micron filter.</p>
			
<p>5. Rinse the filter by pouring about 50 mL of deionized water through the filter. Discard the rinse water.</p>	<p>6. Pour another 50 mL of deionized water through the filter.</p>	<p>7. Blank Preparation: Fill a square sample cell with 10 mL of filtered deionized water from step 6. Discard the excess water in the flask.</p>	<p>8. Pour about 50 mL of sample through the filter.</p>
			
<p>9. Prepared Sample: Fill a second square sample cell with 10 mL of filtered sample.</p>	<p>10. Wipe the blank and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.</p>	<p>11. Press ZERO. The display will show: 0 units PtCo</p>	<p>12. Wipe the prepared sample and insert it into the cell holder with the fill line facing the user. Results are in mg/L PtCo.</p>

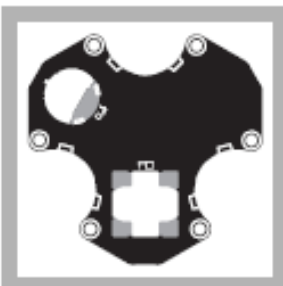


Using SPADNS Reagent

Method 8029



1. Select the test.



2. Install the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.



3. **Prepared Sample:** Pipet 10.0 mL of sample into a dry square sample cell.



4. **Blank Preparation:** Pipet 10.0 mL of deionized water into a second dry square sample cell.



5. Carefully pipet 2.0 mL of SPADNS Reagent into each cell. Swirl to mix.



6. Press **TIMER>OK**. A one-minute reaction period will begin.



7. When the timer expires, insert the blank into the cell holder with the fill line facing the user. Press **ZERO**.

The display will show:
0.00 mg/L F⁻


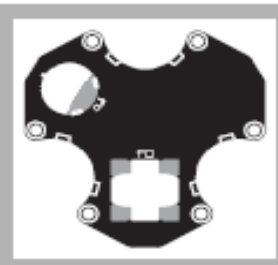








8. Insert the prepared sample into the cell holder with the fill line facing the user.

Results are in mg/L F⁻.


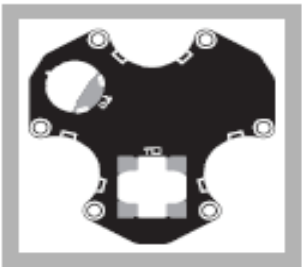
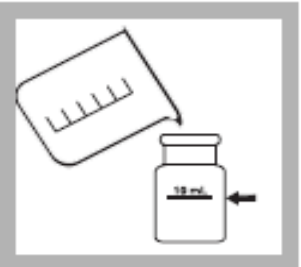


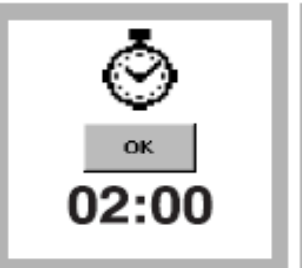
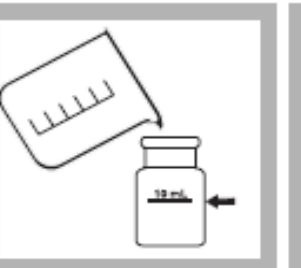
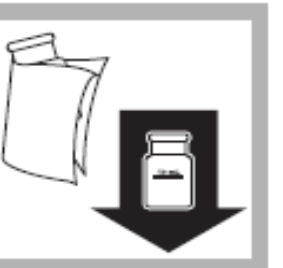
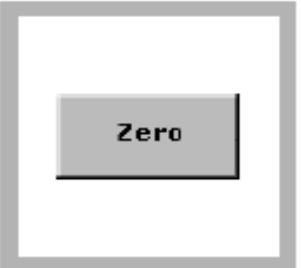



Método de Análisis Hierro Total

Powder Pillows		Method 8008	
			
1. Select the test.	2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.	3. Prepared Sample: Fill a clean square sample cell with 10 mL of sample.	4. Add the contents of one FerroVer Iron Reagent Powder Pillow to the sample cell. Swirl to mix. An orange color will form, if iron is present
			
5. Press TIMER>OK . A three-minute reaction period will begin. (Allow samples that contain rust to react for at least 5 minutes.)	6. Blank Preparation: Fill a second square sample cell with 10 mL of sample.	7. When the timer expires, insert the blank into the cell holder with the fill line facing the user. Press ZERO . The display will show: 0.00 mg/L Fe	8. Place the prepared sample into the cell holder with the fill line facing the user. Results are in mg/L Fe.

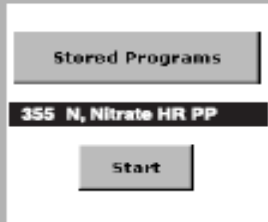





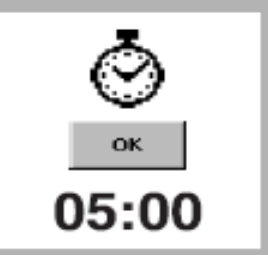
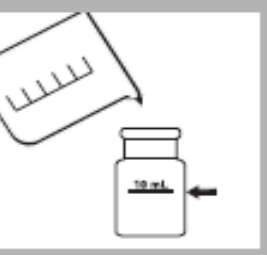

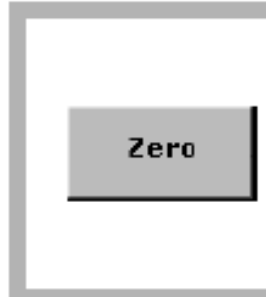



Método de Análisis Manganeso

Powder Pillows		Method 8034	
			
1. Select the test.	2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.	3. Prepared Sample: Fill a square sample cell with 10 mL of sample.	4. Add the contents of one Buffer Powder Pillow, Citrate Type for Manganese. Stopper and invert to mix.
			
5. Add the contents of one Sodium Periodate Powder Pillow to the sample cell. Stopper and invert to mix. A violet color will develop if manganese is present.	6. Press TIMER>OK . A two-minute reaction period will begin.	7. Blank Preparation: Fill a second square sample cell with 10 mL of sample.	8. When the timer expires, insert the blank into the cell holder with the fill line facing the user.
			
9. Press ZERO . The display will show: 0.0 mg/L Mn	10. Within eight minutes after the timer expires, insert the sample into the cell holder with the fill line facing the user. Results are in mg/L Mn		



DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MIQUILSE, MUNICIPIO DE SAN LUCAS, MADRIZ

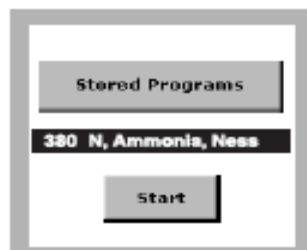
Powder Pillows		Method 8039	
 <p>1. Select the test.</p>	 <p>2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.</p>	 <p>3. Fill a square sample cell with 10 mL of sample.</p>	 <p>4. Prepared Sample: Add the contents of one NitraVer 5 Nitrate Reagent Powder Pillow. Stopper.</p>
 <p>5. Press TIMER>OK. A one-minute reaction period will begin.</p>	 <p>6. Shake the cell vigorously until the timer expires.</p>	 <p>7. When the timer expires, press TIMER>OK again. A five-minute reaction period will begin. An amber color will develop if nitrate is present.</p>	 <p>8. Blank Preparation: When the timer expires, fill a second square sample cell with 10 mL of sample.</p>
 <p>9. Wipe the blank and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.</p>	 <p>10. Press ZERO. The display will show: 0.0 mg/L NO₃⁻-N</p>	 <p>11. Within one minute after the timer expires, wipe the prepared sample and insert it into the cell holder with the fill line facing the user. Results are in mg/L NO₃⁻-N.</p>	

Metodo de Analisis Nitrogeno Amoniacal

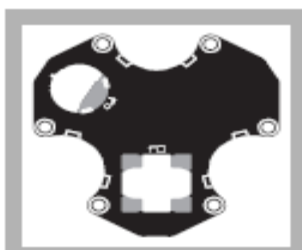


DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MIQUILSE, MUNICIPIO DE SAN LUCAS, MADRIZ

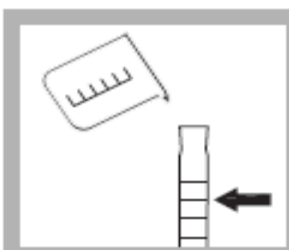
Nessler	Method 8038
----------------	--------------------



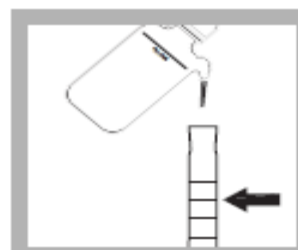
1. Select the test.



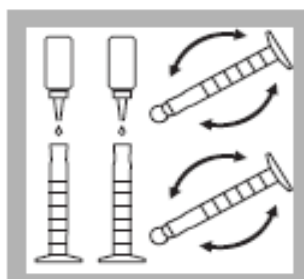
2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.



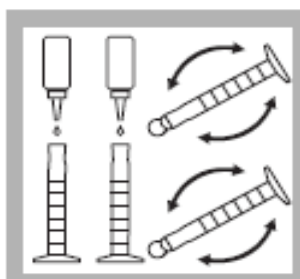
3. Prepared Sample:
Fill a 25-mL mixing graduated cylinder to the 25-mL mark with sample.



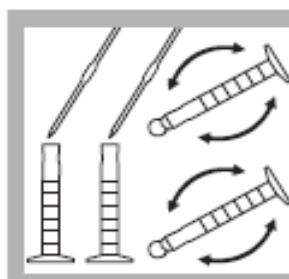
4. Blank Preparation:
Fill a 25-mL mixing graduated cylinder to the 25-mL mark with deionized water.



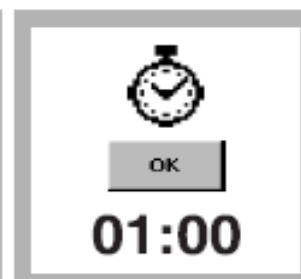
5. Add three drops of Mineral Stabilizer to each cylinder. Stopper and invert several times to mix.



6. Add three drops of Polyvinyl Alcohol Dispersing Agent to each cylinder. Stopper and invert several times to mix.



7. Pipet 1.0 mL of Nessler Reagent into each cylinder. Stopper and invert several times to mix.



8. Press TIMER>OK.
A one-minute reaction period will begin.



9. Pour 10 mL of each solution into a square sample cell.



10. When the timer expires, insert the blank into the cell holder with the fill line facing the user. Press ZERO. The display will show:
0.00 mg/L NH₃-N

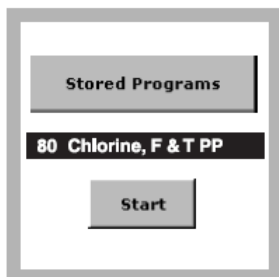


11. Wipe the prepared sample and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.
Results are in mg/L NH₃-N.

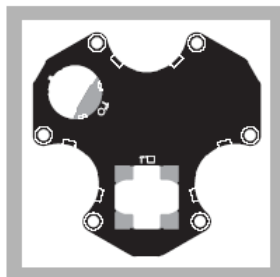


Powder Pillows

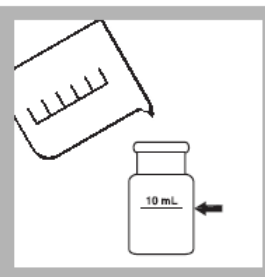
Method 8021



1. Select the test.



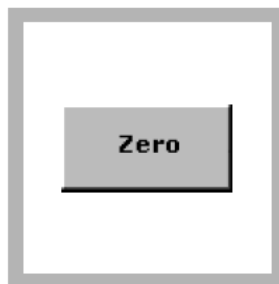
2. Install the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.



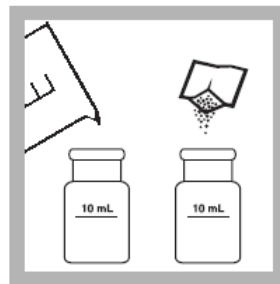
3. **Blank Preparation:** Fill a square sample cell with 10 mL of sample.



4. Wipe the blank and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.



5. Press **ZERO**.
The display will show:
0.00 mg/L Cl_2



6. **Prepared Sample:** Fill a second square cell with 10 mL of sample. Add the contents of one DPD Free Chlorine Powder Pillow to the sample cell.



7. Swirl the sample cell for 20 seconds to mix. A pink color will develop if chlorine is present. Proceed to step 8 immediately.



8. Within one minute of adding the reagent, insert the prepared sample into the cell holder with the fill line facing the user. Results are in mg/L Cl_2 .